

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra částí a mechanismů strojů

Návrh metodiky zajišťování šroubů lepením
Methodology Concept for a locking of Screw with Glue

Student: Tomáš Trčka
Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Zdeněk Foltá, Ph.D.

Ostrava 2010

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra částí a mechanismů strojů

Zadání bakalářské práce

Student: **Tomáš Trčka**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2302R010 Konstrukce strojů a zařízení
Specializace: 40 Konstrukce strojních dílů a skupin
Téma: **Návrh metodiky zajišťování šroubů lepením**
Methodology Concept for a Locking of Screws with Glue

Zásady pro vypracování:

Cílem práce je ověřit vhodnou technologii zajišťování šroubů proti povolení pomocí lepení. Zadavatelem práce je firma BorCAD a.s. Fryčovice, která dodá materiál k experimentu a poskytne řešiteli potřebné konzultace.

1. Proved'te řešerši stávajících systémů zajišťování šroubových spojů proti uvolnění.
2. Zpracujte teoretickou studii silových poměrů na šroubu při jeho utažení a uvolnění se zohledněním různých typů tření, a teoreticky určete očekávaný vliv lepení.
3. Proved'te experimentální ověření změny silových poměrů při uvolnění šroubů zajištěných lepidlem. Rozsah experimentu bude dohodnut ve spolupráci s firmou BorCAD. Firma dodá materiál k experimentu.
4. Vyhodnot'te naměřené hodnoty s cílem doporučit vhodný způsob lepení spojů (technologický postup lepení a typ lepidla).

Práci zpracujte v rozsahu cca 30 stran.

Seznam doporučené odborné literatury:

BOHÁČEK, F.: *Části a mechanismy strojů I - Spoje*. VUT Brno, 1987
BOLEK, A. A KOL.: *Části strojů - svazek 1. a 2.* SNTL Praha, 1990
NĚMEC, J. A KOL.: *Pružnost a pevnost ve strojírenství*. SNTL Praha, 1989.
ČSN 01 6910 *Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory*. Praha: Český normalizační institut, srpen 1997. 36 s.
ČSN ISO 690 *Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura*. Praha: Český normalizační institut, 1996. 32 s.
FARANA, R. aj.: *Zpracování závěrečných textů z oblasti automatizace a informatiky*. Včetně anglicko-českého slovníku automatizační techniky a řízení. 1. vyd. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2004. 116 s. ISBN 80-248-0557-X.

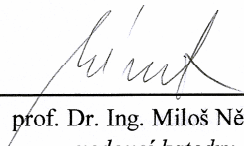
Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Zdeněk Folta, Ph.D.**


Datum zadání: 18.12.2009

Datum odevzdání: 21.05.2010





prof. Dr. Ing. Miloš Němček
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě.....

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména §35 - užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 - školní dílo.
- беру на ве́доміі, že Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- было сје́днано, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- было сје́днано, že užít své dílo - bakalářskou práci nebo poskytnou licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́доміі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě:

.....

Tomáš Trčka

Adresa trvalého pobytu studenta:

Tomáš Trčka
Ostravice 645
739 14 Ostravice
Moravskoslezský kraj
Česká Republika

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

TRČKA, T., Návrh metodiky zajišťování šroubu lepením. Ostrava: Katedra částí a mechanismů strojů, Fakulta strojní VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2010, počet stran 47 s. Bakalářská práce, vedoucí Foltá, Z.

Bakalářská práce se zabývá návrhem metodiky zajišťování šroubu lepením pro firmu BORCAD cz s.r.o.. V první části práce je zpracována rešerše stávajících systémů zajišťování šroubových spojů. Dále byl proveden přehled použitých lepidel a přípravků na povrchovou úpravu šroubů. V další části jsou teoreticky zpracovány silové poměry ve šroubu a proveden pevnostní výpočet pro utažený šroub zadaným utahovacím momentem. V následující části byl vypracován postup pro výrobu měřidla a jeho kalibrace. V poslední části je provedeno vyhodnocení pro všechny varianty měření a u každé je navržena nejlepší kombinace pro daný druh úpravy povrchu. V závěru jsou vyhodnoceny nejlepší naměřené hodnoty a navržena nejlepší kombinace na pojištění šroubu lepením.

ANNOTATION OF THESIS

TRČKA, T., Methodology Concept for a locking of Screw with Glue. Ostrava: Department of Machine Parts and Mechanisms, Faculty of Mechanical Engineering VŠB - Technical University of Ostrava, 2010, 60 p. Thesis, head Foltá, Z.

The bachelor thesis deals with Methodology Concept for a locking of Screw with Glue. The first part is processed by a search of existing systems for screw connections. Next it was an overview of the adhesives and products for surface treatment of screws. In the next section are theoretically prepared bolt in power relationships and perform strength calculation for the tightening of screws specified torque. In the following section was developed process for the manufacture of meter and its calibration. The last part is an evaluation of all options for each measurement and the best combination is designed for the type of coating. In conclusion, the best readings evaluated and proposed the best combination of insurance, bonding screw.

Obsah

1	Úvod.....	9
2	Rešerše stávajících systému zajišťování šroubových spojů	10
3	Použitá lepidla.....	12
3.1	Vlastnosti akrylátových lepidel	12
3.2	Srovnání jednosložkových a dvousložkových lepidel	13
3.3	Použitá lepidla	13
3.4	Přípravky použité k ošetření povrchu	18
4	Silové poměry ve šroubu.....	19
4.1	Síly působící ve šroubu při utažení a povolení matice	20
4.2	Součinitel tření v závitech	21
4.3	Součinitel tření ve stykové ploše hlavy matice a šroubu	22
5	Výpočet sil ve šroubu.....	23
5.1	Výpočet redukovaného napětí	23
	Bezpečnost.....	24
5.2	Výpočet tlaku v závitech	25
5.3	Určení mezního utahovacího momentu	25
6	Měření	26
6.1	Výroba měřidla.....	26
6.2	Kalibrace měřidla	28
6.3	Utahování šroubu.....	30
6.4	Metodika měření.....	30
6.5	Měřené kombinace	31
7	Vyhodnocování	32
7.1	Postup vyhodnocování.....	32
7.2	Výsledky pro neupravený povrch.....	33
7.3	Vyhodnocení pro odmaštěný povrch přípravkem Technosol	35
7.4	Vyhodnocení pro zamaštěný povrch olejem WD40	37
7.5	Vyhodnocení pro povrch ošetřený aktivátorem.....	39
7.6	Vyhodnocení pro povrch odmaštěn Technosolem a ošetřen aktivátorem	41
8	Závěr	43
9	Literatura.....	45
10	Přílohy.....	46
11	Poděkování.....	47

Seznam použitého značení

d	Velký průměr závitu	[mm]
d_1	Malý průměr závitu	[mm]
d_2	Střední průměr závitu	[mm]
d_3	Malý průměr závitu	[mm]
d_s	Střední průměr stykové plochy matice	[mm]
f_M	Součinitel tření mezi maticí a podložkou	[-]
f_Z	Součinitel tření na závitu	[-]
m	Výška matice	[mm]
p	Tlak v závitu	[MPa]
s	Otvor klíče	[mm]
z	Počet závitů	[-]
D_0	Průměr díry pro šroub	[mm]
F_0	Osová síla ve šroubu	[N]
F_P	Provozní síla	[N]
F_Z	Hnací síla	[N]
H_1	Nosná hloubka závitu	[mm]
M_o	Ohybový moment	[Nm]
M_u	Točivý moment	[Nm]
M_T	Třecí moment	[Nm]
M_{TZ}	Moment k překonání tření na závitu matice	[Nm]
M_{TM}	Moment k překonání tření na dosedací ploše matice	[Nm]
P	Stoupání závitu	[mm]
s	Otvor klíče	[mm]
z	Počet závitů	[-]
α	Úhel profilu	[°]
ψ	Úhel stupání závitu	[mm]
φ	Třecí úhel v závitu	[mm]
σ_t	Napětí v tahu	[MPa]
τ_k	Napětí v krutu	[MPa]

1 Úvod

Tématem této bakalářské práce je návrh metodiky zajišťování šroubů lepením. V situaci kdy, je šroubový spoj v klidu, nepůsobí na něho žádné provozní síly a splňuje podmínku samosvornosti, nemůže dojít k samovolnému uvolnění spoje. V případě kdy tyto podmínky šroubový spoj nesplňuje a to zejména při dynamickém namáhání, je potřeba použít pojištění šroubů proti uvolnění.

Typy pojištění se dělí na 3 základní skupiny. Pojištění silovým stykem, tvarovým stykem a materiálovým stykem. Do poslední skupiny patří zajišťování šroubových spojů lepením.

Tento způsob zajištění šroubů se v poslední době velmi rozmáhá zejména z důvodů jeho technologické jednoduchosti a příznivé ceně. Lepené spoje mají obvykle velmi dobrou odolnost proti vibracím, utěsňují spoj a tím brání korozi spoje a dají se aplikovat i dodatečně v rámci servisního zásahu. K dispozici je jak široká pevnostní škála, kde se dá zvolit typ lepidla podle potřeby možného následného rozebírání spoje, tak řada lepidel dané technologií vytvrzování. V této práci jsou ověřována lepidla na bázi akrylátu, která jsou v současnosti firmou BorCAD používána. Jedná se o lepidla, která jsou založena na akrylátových a methakrylátových monomerech. Tato lepidla vytvrzují bez přístupu vzduchu v kontaktu s povrchem kovů.

Cíle této práce jsou:

- zpracování rešerše stávajících systémů zajišťování šroubových spojů proti uvolnění,
- provést teoretickou studii silových poměrů vznikajících při utahení a uvolnění šroubu se zohledněním různých typů tření,
- provést experimentální ověření změny silových poměrů při uvolnění šroubů zajištěných lepidlem,
- a nakonec vyhodnocení naměřených hodnot s cílem doporučit optimální způsob lepení.

2 Rešerše stávajících systému zajišťování šroubových spojů

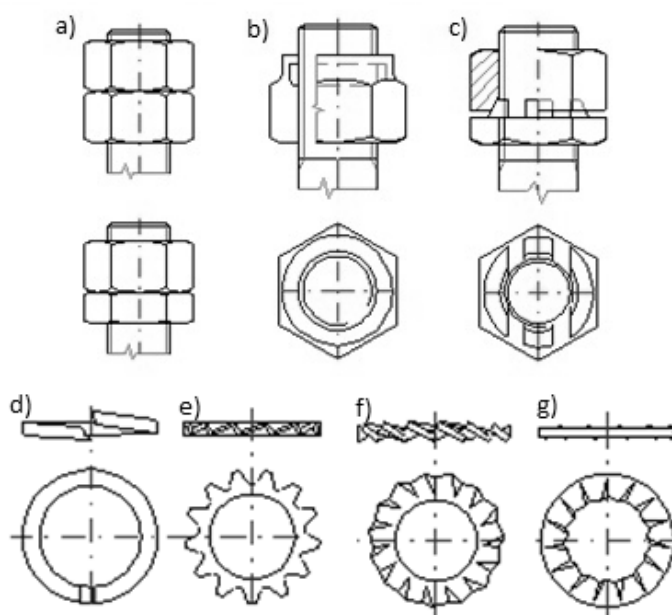
Šroubový spoj se může samovolně uvolnit v případech dynamického namáhání, které vzniká zatížením dynamickou silou (vibrace, rázy), když se šroubový spoj otřásá a chvěje. Při tomto ději se mění osová síla ve šroubu F_s . Při odlehčení šroubu a matice se může spoj uvolnit.

Dalšími příčinami možného samovolného uvolnění je špatná montáž šroubu a vyvození malého předpětí ve šroubu. Ve všech těchto případech pro zabránění samovolného uvolnění matice, používáme vhodné pojištění šroubového spoje. [1]

Pojištění šroubových spojů

1. Silovým stykem

Na následujícím obrázku je zobrazeno několik příkladů běžně používaných způsobů pojištění matice silovým stykem.

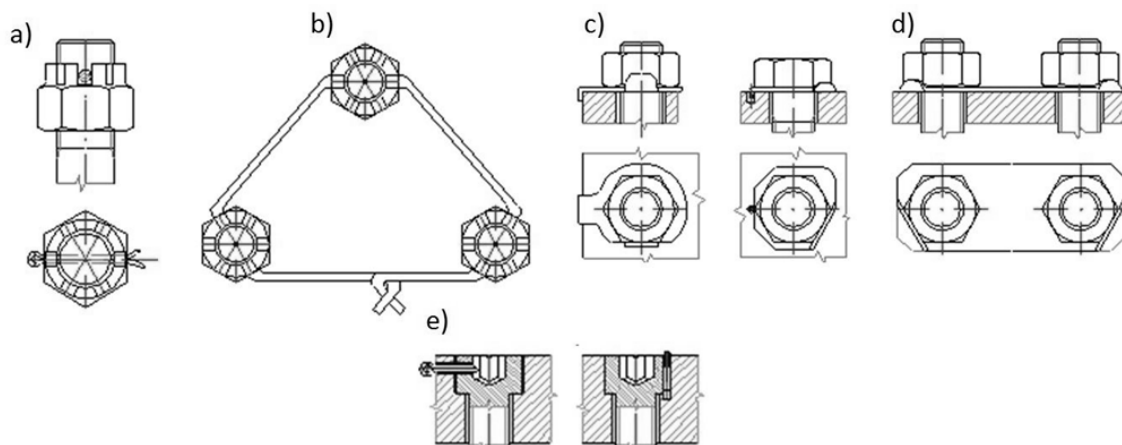


Obr. 1 – Zajištění šroubového spoje silovým stykem [7]

- a) *Přítužná matice (pojistná)*
- b) *Berma matice*
- c) *Samojistná matice*
- d) *Pružná podložka*
- e) *Ozubená podložka*
- f) *Vějířová podložka s vnějším ozubením*
- g) *Vějířová podložka s vnitřním ozubením*

2. Tvarovým stykem

Na následujícím obrázku je zobrazeno několik příkladů běžně používaných způsobů pojištění matice tvarovým stykem.



Obr. 2 – Zajištění šroubového spoje tvarovým stykem [7]

- a) Závlačky
- b) Dráty
- c) Speciální podložky (např. podložka s jazýčkem)
- d) Uchycení podložky na okraji blízké hrany s druhým koncem opřeným o hlavu nebo matici Materiálovým stykem
- e) Kolíky

3. Materiálovým stykem

V dalším případě je uvedeno několik příkladů běžně používaných způsobů pojištění matic materiálovým stykem.

- a) Přivaření hlavy šroubu nebo matice (používá se výjimečně ve zvlášť hrubých provozech, například pro velké rozměry závitů)
- b) Lepení (nanášení lepidla na závitový spoj)

3 Použitá lepidla

Pro lepení se používá řada typů lepidel, která se liší zejména principem jejich vytvrzení. Dále je možno lepidla dělit podle jejich výsledné pevnosti, rychlosti vytvrzování, odolnosti proti chemikáliím a teplotám a podle dalších vlastností. Vzhledem k sortimentu lepidel v současnosti používaných ve firmě BorCAD se budu zabývat jen lepidly jednosložkovými akrylátovými.

3.1 Vlastnosti akrylátových lepidel

Jedná se o nejnovější typy speciálních jednosložkových lepidel a tmelů, které tuhnou i bez kontaktu s okolním vzduchem. Vytvrzení je aktivováno kontaktem s povrchem spojovaného železa, mědi nebo slitin těchto kovů. Tato lepidla jsou založena na akrylátových a methakrylátových monomerech. Lepidlo obsahuje katalyzátor, urychlovač vytvrzení a inhibitor polymerace. Vlastnosti těchto lepidel a tmelů se dále upravují změkčovadly, plnivy atd. Lepidlo nanesené na spojované plochy se vytvrdí po oboustranném kontaktu s materiálem (kovem) za nepřítomnosti vzduchu a za normální teploty.

Po vytvrzení vzniká reaktoplastický film, který se vyznačuje malou smrštitivostí. Tyto lepidla jsou použitelná v rozmezí teplot -50°C až $+150^{\circ}\text{C}$. Mechanická pevnost spojů je srovnatelná s pevností spojů provedených epoxidovými pryskyřicemi.

Uvedená lepidla se používají výhradně ke spojování kovů. Uplatňují se i jako tmely zajišťující utěsňující spoje mezi kovovými součástkami (utěsňování šroubů, matic, přírub, přírubových spojů atd.). Pomocí těchto lepidel se zajišťují díly vystavené vibračním vlivům, mohou nahradit např. pojistné matice, perové podložky, závlačky, samojisticí matice atd. [2]



Obr. 3 – Příklady použití lepidel na bázi akrylátu

3.2 Srovnání jednosložkových a dvousložkových lepidel

U dvousložkových lepidel se musí jednotlivé složky odvažovat a mísit. Při těchto operacích mohou vzniknout chyby. Kromě toho se jimi zdražuje výroba, neboť mají relativně krátký aplikační interval po namíchání a dlouhou dobu tuhnutí. Dvousložková lepidla buď vytvrzují dlouho při laboratorní teplotě, nebo se musí lepené díly dávat vytvrzovat do pece a i tak jsou vytvrzovací doby téměř vždy dlouhé. Tímto dochází ke zdražování a zpomalování výroby.

Přebytečné lepidlo musí být obvykle, u dvousložkových lepidel viskózního typu, zmetkováno. Protože spotřebu lepidla nelze často přesně odhadnout, vznikají z toho skoro vždy ztráty.

Nanášení snadno tekoucích jednosložkových lepidel na bázi kyanoakrylátů a metakrylátů je ve srovnání s viskózními dvousložkovými systémy většinou mnohem jednodušší, čistší a levnější. [3]

3.3 Použitá lepidla

LOCTITE 2701

Loctite 2701 je určen pro trvalé upevňování a utěsňování závitových spojů. Produkt vytvrzuje bez přístupu vzduchu ve spáře mezi lepenými kovovými povrchy a zabraňuje uvolnění či prosakování spoje, které je způsobené vibracemi a rázy. Tento produkt je zejména vhodný pro použití na neaktivní povrchy a tam, kde je požadována maximální odolnost vůči horkému oleji. [11]

Tab.1 – Vlastnosti Loctite 2701 [11]

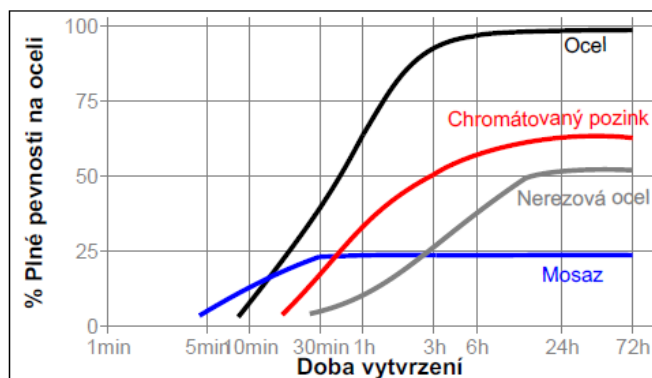
Chemické složení	Dimethakrylát ester
Vzhled (nevytvrzený)	Zelená kapalina
Složky	Jednosložkový
Viskozita	Nízká
Vytvrzení	Anaerobní
Sekundární vytvrzení	Aktivátor
Viskozita při 25°C	500 až 900 mPa·s



Obr. 4 – Loctite 2701

Rychlost vytvrzení dle materiálu:

Graf ukazuje, závislost pevnosti ve smyku na čase ocelového šroubu pro různé materiály.



Obr. 5 – Loctite 2701 – graf závislost pevnosti na čase a materiálu [11]

LOCTITE 243

Loctite 243 je určen pro zajišťování a utěšňování závitových spojů, které mají být demontovatelné běžným ručním nářadím. Produkt vytvrzuje bez přístupu vzduchu ve spáře mezi lepenými kovovými povrchy a zabraňuje uvolnění, které je způsobené vibracemi a rázy. Tixotropní charakter LOCTITE® 243™ zabraňuje jeho stékání z místa nanesení. LOCTITE® 243™ poskytuje výborné výsledky při vytvrzování. Dobře vytvrzuje nejen na aktivních kovech (jako je bronz, měď) ale také na pasívních površích, jakými jsou nerezové oceli a povlakované kovy. Produkt nabízí zvýšenou odolnost vůči teplotě a větší toleranci k mírně zamaštěným povrchům, což znamená, že vytvrzuje i na povrchu, který je mírně znečištěn různými oleji, mazivy, řeznými, protikorozními a ochrannými kapalinami. [10]

Tab. 2 – Vlastnosti Loctite 243 [10]

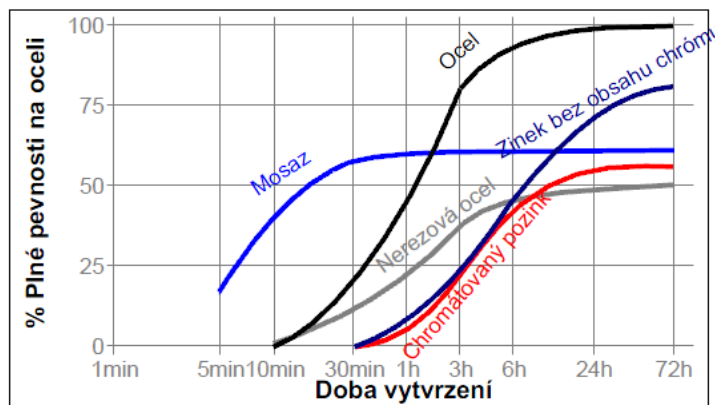
Chemické složení	Dimethakrylát ester
Vzhled (nevytvrzený)	Modrá kapalina
Složky	Jednosložkový
Viskozita	Střední, tixotropní
Vytvrzení	Anaerobní
Sekundární vytvrzení	Aktivátor
Viskozita při 25 °C	350 mPa·s



Obr. 6 – Loctite 243

Rychlost vytvrzení dle materiálu:

Graf ukazuje, závislost pevnosti ve smyku na čase ocelového šroubu pro různé materiály.



Obr. 7 – Loctite 273 – graf závislost pevnosti na čase a materiálu [10]

PERMABOND A113

Permabond A113 je středněpevnostní anaerobní produkt určený pro zajišťování a těsnění závitových spojů. Dokonale nahrazuje mechanické zajištění spoje, jako jsou podložky, kontramatky, atd. V případě nutnosti umožňuje produkt následnou demontáž bez poškození šroubu a to za použití běžného ručního nářadí. Produkt vytvrzuje bez přístupu vzduchu ve spáře mezi lepenými kovovými povrchy a zabraňuje vzniku koroze ve spoji, uvolnění spoje nebo prosakování spoje, které je způsobené vibracemi nebo rázy. Výborná chemická odolnost umožňuje použití tohoto produktu v oblasti hydrauliky a pneumatiky. Vysoká odolnost proti vibracím umožňuje nasazení tohoto produktu u velmi namáhaných spojení a může nahradit celou řadu jiných mechanických zajištění. [14]

Tab. 3 – Vlastnosti Permabond A113 [14]

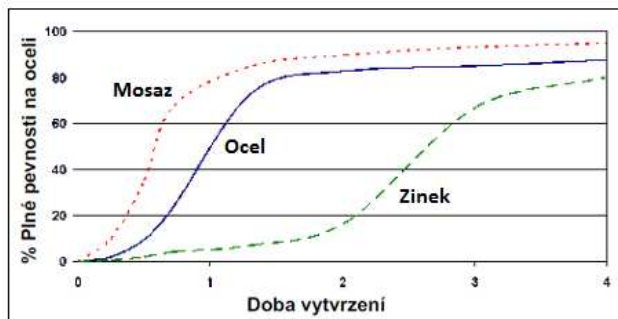
Chemické složení	Akrylát
Vzhled (nevytvrzený)	Modrá kapalina
Složky	Jednosložkový
Viskozita	Střední, tixotropní
Vytvrzení	Anaerobní
Sekundární vytvrzení	Aktivátor
Viskozita při 25°C	500 mPa·s



Obr. 8 – Permabond A113

Rychlost vytvrzení dle materiálu:

Graf ukazuje, závislost pevnosti ve smyku na čase ocelového šroubu pro různé materiály.



Obr. 9 – Permabond A113 – graf závislost pevnosti na čase a materiálu [14]

PERMABOND HM-135

Permabond HM-135 je anaerobní lepidlo s rychlým vytvrzováním a střední viskozitou pro zajištění závitů šroubů a matic a válcových součástí. Jedná se o vysoko pevnostní produkt pro permanentní těsnění. Vytvrzuje na kovech včetně těch, které mají neaktivní povrch jako je např. chrom. Je odolný vůči plynům, vodě, pohonným látkám a dalším chemikáliím. [15]

Tab. 4 – Vlastnosti Permabond HM135 [15]

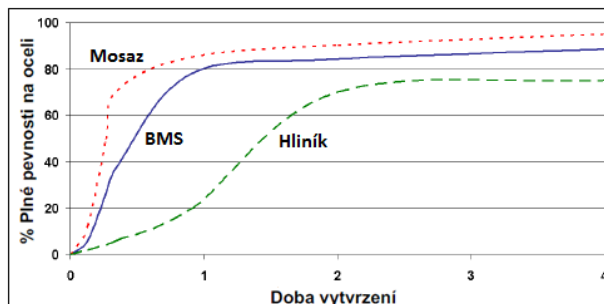
Chemické složení	Akrylát
Vzhled (nevytvrzený)	Zelená kapalina
Složky	Jednosložkový
Viskozita	Střední, tixotropní
Vytvrzení	Anaerobní
Sekundární vytvrzení	Aktivátor
Viskozita při 25°C	500 mPa·s



Obr. 10 – Permabond A113

Rychlost vytvrzení dle materiálu:

Graf ukazuje, závislost pevnosti ve smyku na čase ocelového šroubu pro různé materiály.



Obr. 11 – Permabond A113 – graf závislost pevnosti na čase a materiálu [15]

RITE-LOK TL43

Rite-lok TL43 je anaerobní lepidlo, které má takové složení, které zajišťuje všechny metrické a anglosaské matice a šrouby, čímž zabraňuje uvolňování v důsledku vibrací a únikům skrz závity. Výrobek TL43 má slabou odolnost proti oleji, takže bude lepit některé součásti v tom stavu, v jakém byly dodány, ale nejlepších výsledků se dosahuje na čistém povrchu. [12]

Tab. 5 – Vlastnosti Rite-lok TL43 [12]

Chemické složení	Dimetakrylát
Vzhled (nevytvrzený)	Zelená kapalina
Složky	Jednosložkový
Výplň mezery	0,30 mm
Rozsah teplot	-50°C až 150°C
Viskozita při 25°C	500 mPa·s



Obr. 12 – RITE-LOK TL70

RITE-LOK TL70

Rite-lok TL70 je anaerobní lepidlo, které má takové složení, které zajišťuje kovové upevňovací prvky, čímž zabraňuje uvolňování v důsledku vibrací a únikům skrz závity. Výrobek TL70 je určený pro všechny aplikace, které vyžadují maximální pevnost spoje. [12]

Tab.6 – Vlastnosti Rite-lok TL70 [12]

Chemické složení	Dimetacrylát
Vzhled (nevytvrzený)	Zelená kapalina
Složky	Jednosložkový
Výplň mezery	0,20 mm
Rozsah teplot	-50°C až 150°C
Viskozita při 25°C	1400 mPa·s



Obr. 13 – RITE-LOK TL-70

3.4 Přípravky použité k ošetření povrchu

Aktivátor Loctite 7471

Aktivátor Loctite 7471 se používá, pokud je požadována zvýšená rychlost vytvrzení anaerobních produktů LOCTITE. Je zejména doporučen pro aplikace na pasivních kovech nebo neaktivních površích a tam, kde je velká spára. Je zejména doporučený tam, kde je nízká okolní teplota (pod 15 °C). [13]



Obr. 14 – Loctite 7471

Technosol

Technosol je univerzálním čisticím a odmašťovacím prostředkem pro všechny oblasti průmyslu, v montážních i opravářských dílnách. Odstraňuje bez problémů zbytky lepidel a těsnicích hmot, zatvrdlé mazací prostředky. Díky svým penetračním a čisticím účinkům doporučujeme používat k přípravě povrchu, který se bude lepit, tmelit nebo lakovat. Zvýší se tak účinnost prováděných operací. [16]



Obr. 15 – Technosol

WD-40

Univerzální mazací a antikorozní přípravek. Vytěsňuje vodu, brání rosení – extrémní vzlínavost – uvolňování šroubů. Velmi lehce odstraňuje mastnotu. Usnadňuje svařování el. obloukem. Tento prostředek je při měření používán pro simulace lepení na mazadly znečištěný povrch. [17]



Obr. 16 – WD-40

4 Silové poměry ve šroubu

Je-li šroubový spoj v klidu, nepůsobí na něho žádné provozní zatížení a šroub a matice jsou správně utaženy, nemůže dojít k samovolnému uvolnění spoje. Proti uvolnění působí tření v závitu a pod maticí. Na základě rozboru momentů působících při utahování, kdy se utahovací moment M_U rozdělí na moment tření v závitu M_{TZ} a moment tření pod maticí M_{TM} . [1]

$$M_U = M_{TZ} + M_{TM} \quad (4.1)$$

$$M_{TZ} = F_0 \cdot (\psi + \varphi') \cdot \frac{d_2}{2} \quad (4.2)$$

kde: F_0 – síla ve šroubu

d_2 – střední průměr závitu

ψ - úhel stoupání závitu

φ' - třecí úhel

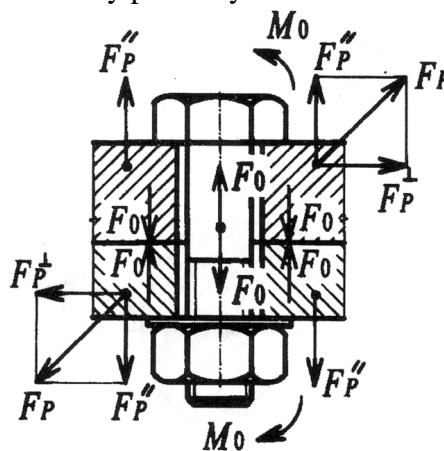
$$M_{TM} = F_0 \cdot f_M \cdot \frac{d_S}{2} \quad (4.3)$$

kde: d_S – střední průměr stykové plochy matice

f_M – součinitel tření mezi maticí a podložkou

Za provozu je šroubový spoj zatížen různými silami:

- F_0 - Síla od utažení matice při montáži.
- F_P^\perp - Provozní síla v kolmém směru.
- F_P^\parallel - Provozní síla v ose šroubu.
- F_P - Provozní síla v obecném směru.
- M_o – Ohybový moment tvořený přídatnými silami.



Obr. 17 – Rozložení sil ve šroubu [1]

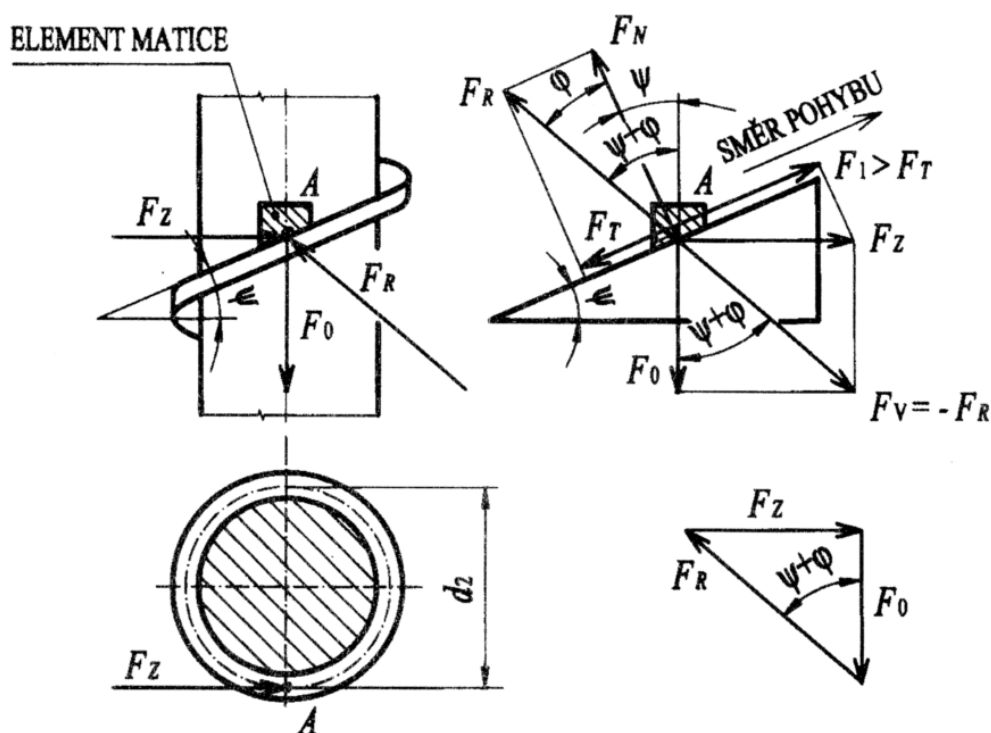
Síla F_0 svírá spojované části a její reakce, působící v ose šroubu namáhá šroub na tah. Tuto trvale působící sílu ve šroubovém spoji nazýváme předpětí. Další provozní a přídavné síly mohou být v čase jak stálé, tak i proměnné. Pro výpočet a dimenzování šroubového spoje je znalost těchto sil nezbytná. [1]

4.1 Síly působící ve šroubu při utažení a povolení matice

Šroubovici jednoho závitu můžeme rozvinutím do roviny graficky znázornit pravoúhlým trojúhelníkem, jsou síly působící na šroubu obdobné silám působícím na nakloněné rovině s úhlem sklonu rovným úhlu stoupání závitu ψ . Svislé tíže břemena odpovídá osová síla ve šroubu F_0 . Vodorovné hnací síle, působící na břemeno, odpovídá síla F_Z působící v důsledku utahovacího momentu tečně na střední průměr závitu d_2 v bodě dotyku závitu A. Při stanovení sil ve šroubu vycházíme z rovnováhy sil. [1]

Utahování šroubu

Odpovídá zdvihání břemene rovnoměrným pohybem po nakloněné rovině nahoru. Třecí síla na závitu F_T odkloňuje normálovou reakci závitu šroubu F_N o třecí úhel φ smykového tření závitu do šikmé reakce F_R . Rovnováhu sil F_Z , F_0 , F_R v rovině řešíme buď analyticky pomocí 2 rovnovážných rovnic, nebo graficky ze silového trojúhelníka. [1]

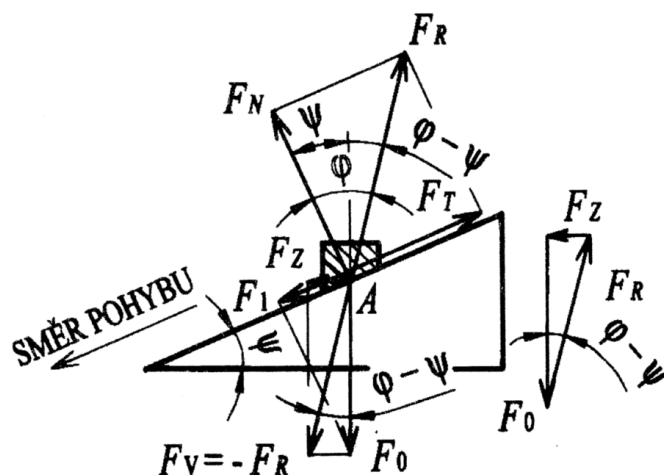


Obr. 18 – Síly na závitu [1]

Uvolňování šroubu

Silové poměry se při uvolňování šroubu řeší zvlášť pro samosvorný a nesamosvorný šroub. V mém případě se jedná vždy o šroub se závitem, který je samosvorný.

U samosvorného závitu je $\psi < \varphi$ a síla působící obvodově F_Z je záporná. Břemeno se nemůže samovolně po nakloněné rovině spustit. Matice se působením osově síly nemůže samovolně uvolnit. K uvolnění matice, neboli spuštění břemene po nakloněné rovině, je nutná určitá velikost hnací síly F_Z . [1]



Obr. 19 – Síly působící na samosvorný závit [1]

4.2 Součinitel tření v závitech

Velikost součinitele tření v závitech f_Z závisí na materiálu, drsnosti, úpravě povrchu a úhlu sklonu boku závitu. Velikost f_Z určujeme nejlépe experimentálně na skutečném šroubovém spoji. Orientační hodnoty součinitele tření pro ostrý závit jsou uvedeny v tabulce. U plochých závitů bývá součinitel tření mírně nižší. [8]

Tab. 7 – Nemazaný závit (bez zvláštního mazání, ale neodmaštěný) [8]

Vnější závit ocelový	Vnitřní závit			
	Ocelový neupravený	Ocelový zinkovaný	Šedá litina	Al slitiny
Neupravený	0,12 ÷ 0,18	0,14 ÷ 0,20	0,12 ÷ 0,18	0,12 ÷ 0,23
Fosfátovaný	0,12 ÷ 0,18	0,14 ÷ 0,20	0,12 ÷ 0,18	0,12 ÷ 0,23
Pozinkovaný	0,14 ÷ 0,23	0,14 ÷ 0,25	0,12 ÷ 0,19	0,14 ÷ 0,23
Kadmiový	0,09 ÷ 0,14	0,10 ÷ 0,16	0,09 ÷ 0,14	0,09 ÷ 0,15
Odmaštěný	0,19 ÷ 0,25	0,19 ÷ 0,25	0,19 ÷ 0,25	0,19 ÷ 0,25

Tab. 8 – Mazaný závit [8]

Vnější závit ocelový	Vnitřní závit			
	Ocelový neupravený	Ocelový zinkovaný	Šedá litina	Al slitiny
Neupravený	0,10 ÷ 0,17	0,12 ÷ 0,18	0,10 ÷ 0,17	0,11 ÷ 0,20
Fosfátovaný	0,10 ÷ 0,17	0,12 ÷ 0,18	0,10 ÷ 0,17	0,11 ÷ 0,20
Pozinkovaný	0,12 ÷ 0,20	0,12 ÷ 0,20	0,11 ÷ 0,18	0,12 ÷ 0,20
Kadmiovaný	0,08 ÷ 0,13	0,09 ÷ 0,15	0,08 ÷ 0,13	0,08 ÷ 0,14

Jak je patrné z tab.1 a tab.2 velikost součinitele tření v závitech f_z má velký rozptyl, což je nevhodné. V důsledku velkého rozptylu hodnot f_z dosahujeme utažením matice stejnou velikostí točivého momentu T různou velikostí předpětí F_0 ve spoji. Nežádoucí velký rozptyl velikosti předpětí F_0 ve spoji zapříčiňuje nespolehlivost šroubového spoje.

4.3 Součinitel tření ve stykové ploše hlavy matice a šroubu

Velikost součinitele tření pod hlavou šroubu resp. maticí závisí na materiálu matice a sevřených částí, drsnosti, úpravě povrchu a mazání. Orientační hodnoty součinitele tření pro ocelovou hlavu šroubu (matici) jsou uvedeny v tabulce.

Tab. 9 – Součinitel tření ve stykové ploše hlavy matice a šroubu [8]

Hlava šroubu matice	Materiál sevřených částí			
	Ocel	Ocel pozinkovaná	Šedá litina	Al slitina
Neupravená suchá	0,10 ÷ 0,18	0,10 ÷ 0,18	0,12 ÷ 0,20	-
Fosfátovaná suchá	0,10 ÷ 0,18	0,10 ÷ 0,18	0,12 ÷ 0,20	-
Pozinkovaná suchá	0,10 ÷ 0,20	0,16 ÷ 0,22	0,10 ÷ 0,20	-
Neupravená mazaná	0,08 ÷ 0,15	0,08 ÷ 0,15	0,08 ÷ 0,16	0,08 ÷ 0,20
Fosfátovaná mazaná	0,08 ÷ 0,15	0,08 ÷ 0,15	0,08 ÷ 0,16	0,08 ÷ 0,20
Pozinkovaná mazaná	0,08 ÷ 0,18	0,08 ÷ 0,18	0,10 ÷ 0,18	-

5 Výpočet sil ve šroubu

Před vlastním měřením jsem provedl pevnostní kontrolu použitého šroubového spoje, pro následující parametry

Parametry šroubu [5]:

Šroub - M6 ČSN 02 1143,
pevnostní třída 8.8

$$d = 6 \text{ mm}$$

$$d_1 = 4,917 \text{ mm}$$

$$d_2 = 5,350 \text{ mm}$$

$$d_3 = 4,773 \text{ mm}$$

$$P = 1 \text{ mm}$$

Parametry šroubového spoje:

Součinitel tření pod maticí volím dle tab. 9. pro hlavu šroubu pozinkovanou suchou a materiál sevřených částí ocel:

$$f_m = (0,1 - 0,2) \Rightarrow \text{Volím } f_m = 0,15$$

Součinitel tření v závitu volím dle tab. 7. pro vnější závit ocelový pozinkovaný a vnitřní závit ocelový neupravený:

$$f_z = (0,14 - 0,23) \Rightarrow \text{Volím } f_m = 0,19$$

Utahovací moment šroubu, po dohodě s firmou BorCAD byl stanoven na:

$$M_U = 4,5 \text{ N} \cdot \text{m}$$

5.1 Výpočet redukováného napětí

Výpočet předpětí od utažení šroubu

Jako první si ze vztahu (4.1) s předešlé kapitoly vyjádřím sílu ve šroubu F_0 .

$$M_U = F_0 + \operatorname{tg}(\psi + \varphi') \cdot \frac{d_2}{2} \cdot F_0 \cdot f_m \cdot \frac{d_s}{2} \Rightarrow F_0 \quad (5.1)$$

$$F_0 = \frac{M_U}{\operatorname{tg}(\psi + \varphi') \cdot \frac{d_2}{2} + f_m \cdot \frac{d_s}{2}} = \frac{4,5 \cdot 10^3}{\operatorname{tg}(3,404 + 12,374) \cdot \frac{5,350}{2} + 0,15 \cdot \frac{8,4}{2}} = 2525,6 \text{ N}$$

Třecí úhly závitu

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{P}{\pi \cdot d_2} \Rightarrow \psi = \operatorname{arctg} \left(\frac{P}{\pi \cdot d_2} \right) = \operatorname{arctg} \left(\frac{1}{\pi \cdot 5,350} \right) = 3,404^\circ \quad (5.2)$$

$$\operatorname{tg} \varphi' = \frac{f_z}{\cos \frac{\alpha}{2}} \Rightarrow \varphi' = \operatorname{arctg} \left(\frac{f_z}{\cos \frac{\alpha}{2}} \right) = \operatorname{arctg} \left(\frac{0,19}{\cos \frac{60^\circ}{2}} \right) = 12,374^\circ \quad (5.3)$$

Podmínka samosvornosti

$$\varphi' \geq \psi$$

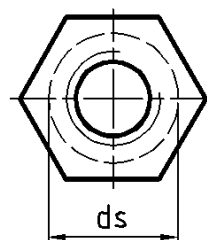
$12,374^\circ \geq 3,404^\circ \Rightarrow$ Podmínka samosvornosti vyhovuje. Šroub je samosvorný.

Střední průměr stykové plochy

$$D_0 = 6,8 \text{ mm [5]}$$

$$s = 10 \text{ mm [5]}$$

$$d_s = \frac{D_0 + s}{2} = \frac{6,8 + 10}{2} = 8,4 \text{ mm}$$



Obr. 20 – Střední průměr stykové plochy

Napětí v tahu

$$\sigma_t = \frac{F_0}{S} = \frac{4 \cdot F_0}{\pi \cdot d_3^2} = \frac{4 \cdot 2525,6}{\pi \cdot 4,773^2} = 141,7 \text{ MPa} \quad (5.4)$$

Napětí v krutu

$$\tau_k = \frac{T}{W_k} = \frac{16 \cdot T}{\pi \cdot d_3^3} = \frac{16 \cdot 4,5 \cdot 10^3}{\pi \cdot 4,773^3} = 210 \text{ MPa} \quad (5.5)$$

Mez kluzu dle daného šroubu třídy 8.8

Mez kluzu se vypočítá pomocí jeho třídy. V tomto případě se jedná o šroub třídy 8.8.

$$R_e = 8 \cdot 8 \cdot 10 = 640 \text{ MPa}$$

Pevnostní kontrola dle HMM

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_t^2 + 3 \cdot \tau_k^2} = \sqrt{141^2 + 3 \cdot 210^2} = 390,17 \text{ MPa} \leq \sigma_{DOV} \quad (5.6)$$

Bezpečnost

$$k_s = \frac{R_e}{\sigma_{red}} = \frac{640}{390,17} = 1,64 \Rightarrow \text{Bezpečnost vyhovuje } k_{smin} = 1,5 \quad (5.7)$$

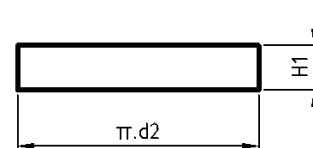
5.2 Výpočet tlaku v závitech

Pro ocelový šroub volím dle [5],

$$p = \frac{F_0}{S} \leq p_{DOVmax}$$

$$p = \frac{F_0}{\pi \cdot d_2 \cdot H_1 \cdot z} = \frac{2525,6}{\pi \cdot 5,350 \cdot 0,5418 \cdot 9} = 30,83 \text{ MPa} \leq p_{DOVmax} \quad (5.8)$$

\Rightarrow Vyhovuje



Obr. 21 – plocha závitu

Pokud uvažuji, že první závit matice přenáší až 40% celkového zatížení pak:

$$p_1 = \frac{0,4 \cdot p}{m} = \frac{0,4 \cdot 30,83}{9} = 110 \text{ MPa} \leq p_{DOVmax} \quad (5.9)$$

$$p_{DOVmax} = \frac{R_e}{(2 \div 2,5)} = \frac{640}{2,5} = 256 \text{ MPa} \quad (5.10)$$

Počet závitů matice

Výška matice $m = 9 \text{ mm}$

$$m = P \cdot z \Rightarrow z = \frac{m}{P} = \frac{9}{1} = 9 \text{ závitů} \quad (5.9)$$

Nosná hloubka závitu

$$H_1 = \frac{d - d_1}{2} = \frac{6 - 4,917}{2} = 0,5415 \text{ mm} \quad (5.10)$$

5.3 Určení mezního utahovacího momentu

Tento výpočet provádím z proto, abych zjistil, při jakém točivém momentu vzniká ve šroubu plastická deformace a tudíž jaký utahovací moment by neměl být překročen.

Dovolené napětí v krutu pro šroubu třídy 8.8

$$\tau_{DOV} = 0,557 \cdot R_e = 0,557 \cdot 640 = 369,3 \text{ Mpa} \quad (5.11)$$

Plastická deformace ve šroubu

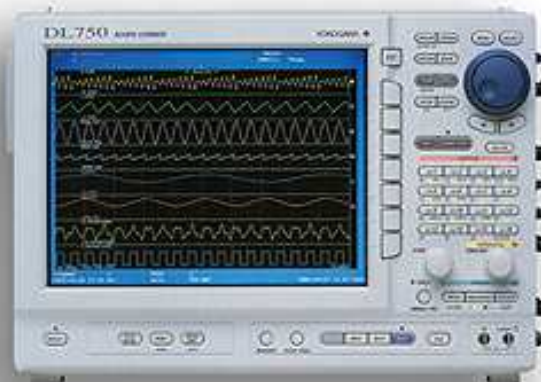
$$\tau = \frac{T}{W_k} \leq \tau_{DOV} \quad (5.12)$$

$$T = \frac{\tau_{DOV} \cdot \pi \cdot d_3^3}{16} = \frac{369,3 \cdot \pi \cdot 4,773^3}{16} = 7884,7 \text{ Nmm} = 7,9 \text{ Nm}$$

Ve šroubu vzniká plastická deformace při točivém momentu 7,9 Nm. Znamená to, rovněž, že bude-li povolovací moment vyšší, než 7,9 N·m, bude šroub plasticky deformován a bylo by vhodné, aby nebyl opakovaně použit.

6 Měření

Pro měření jsem používal záznamový osciloskop YOKOGAWA DL750 s tenzometrickými vstupy.



Obr. 22 – Záznamový osciloskop DL750

Jedná se o univerzální digitální osciloskop s vysokou frekvencí záznamu (až 100 kHz pro tenzometrické kanály) se záznamem do paměti ($1 \cdot 10^6$ záznamů) nebo s přímým vzorkováním na pevný disk s možností velmi dlouhých záznamů, s možností připojení 16 měřených míst.

6.1 Výroba měřidla

Měření, jak při utahování, tak povolování, jsem prováděl za pomoci momentového klíče. Protože vhodný momentový klíč, který by umožňoval i záznam okamžitého momentu, nebyl k dispozici, rozhodli jsme se takovýto klíč vyrobit. Za pomoci vedoucího mé bakalářské práce jsem zhotovil klíč pro měření točivého momentu pro utahování a povolování šroubu. Tento klíč jsem následně ocejchoval. Záznam momentu jsem prováděl pomocí výše uvedeného záznamového osciloskopu YOKOGAWA DL750.

Pro výrobu měřícího klíče jsem použil:

Imbusový klíč velikosti 5 firmy TOCA.

Tenzometry:	Typ:	1,5/120XY21 - od Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH
	Resistance	$120[\Omega]^{+0,35[\%]}_{-0,35[\%]}$
	K – Faktor	$1,92 \pm 1,5[\%]$

Lepidlo na lepení tenzometrů Z70 – od Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH

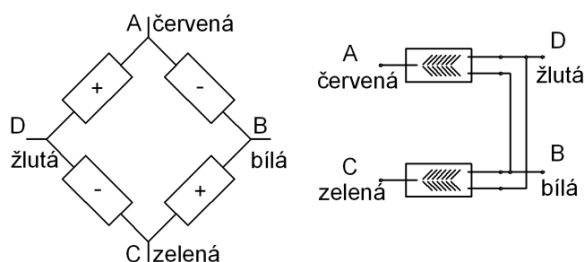
Pájecí patky LS7 - od Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH

Popis výroby

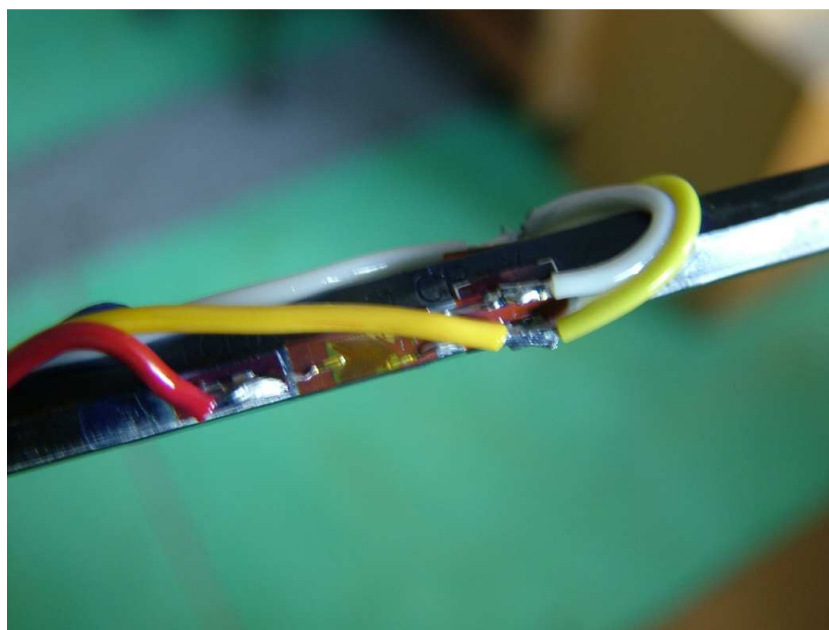
Místo na imbusovém klíči, určené pro instalaci tenzometrů, jsem důkladně obrousil a následně vyleštil pomocí jemného smirkového papíru. Pak jsem vše důkladně otřel čistými tampóny a plochy odmastil acetonem, abych zajistil naprostou čistotu povrchu.

Tenzometry sem následně přilepil speciálním lepidlem Z70, které je určené přímo od výrobce. Při vytvrzování lepidla je potřeba tenzometr k lepené ploše přitlačovat po dobu 60 až 90 sekund. Pro přitlačení jsem použil teflonovou pásku. Protože byly tenzometry použity s integrovanými vývody, bylo nutno vedle tenzometrů nalepit patky LS 7. Tenzometry byly propojeny do plného tenzometrického můstku dle schématu (23).

Po zaschnutí lepidla byly tenzometry zatřeny dvěma polyuretanový krycí nátěry PU 120 od firmy HBM. Další den po zaschnutí nátěru jsem vše zakryl samosmršťující bužírkou, kvůli ochraně před mechanickým poškozením.



Obr. 23 – Schéma zapojení tenzometru do plného mostu



Obr. 24 – Zapojení tenzometrů na imbusovém klíči

6.2 Kalibrace měřidla

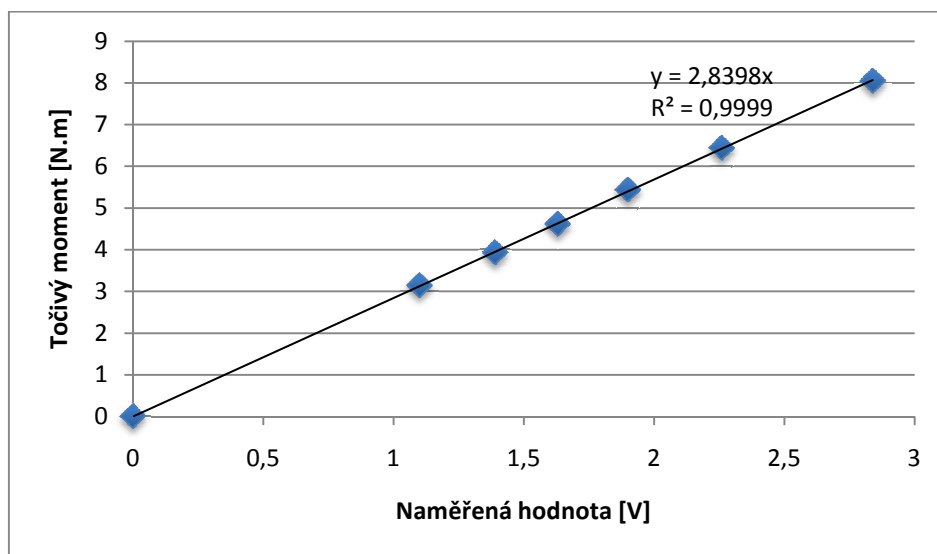
Vzhledem k tomu, že tenzometry byly umístěny na šestihrannou tyč, nebylo možné provést teoretický výpočet převodního koeficientu mezi točivým momentem a měřícím napětím na osciloskopu. Proto jsem provedl kalibraci a to v sestavě, kterou jsem následně použil pro vlastní měření, čímž jsem do značné míry eliminoval systematické chyby jednotlivých členů měřeného řetězce. Pro kalibraci měřidla, jsem k vyrobenému klíči připevnil cca 0,5 metrovou páku, kterou jsem ve zvolených místech zatěžoval závažím. V mém případě se jednalo o závaží $m_1 = 2,05 \text{ kg}$ a $m_2 = 1,00 \text{ kg}$. Vyvolaný točivý moment v klíči jsem teoreticky spočítal a podělil odečtenou hodnotou z osciloskopu. Ohybový moment, vzniklý od závaží, byl v tomto případě kompenzován symetrickým umístěním tenzometrů a jejich zapojením do plného mostu. Tímto jsem získal měřítko, které jsem následně nastavil v přístroji, takže se mi na obrazovce zobrazovala hodnota točivého momentu přímo v Nm.

Na následujícím obrázku je systém kalibrace snímače.



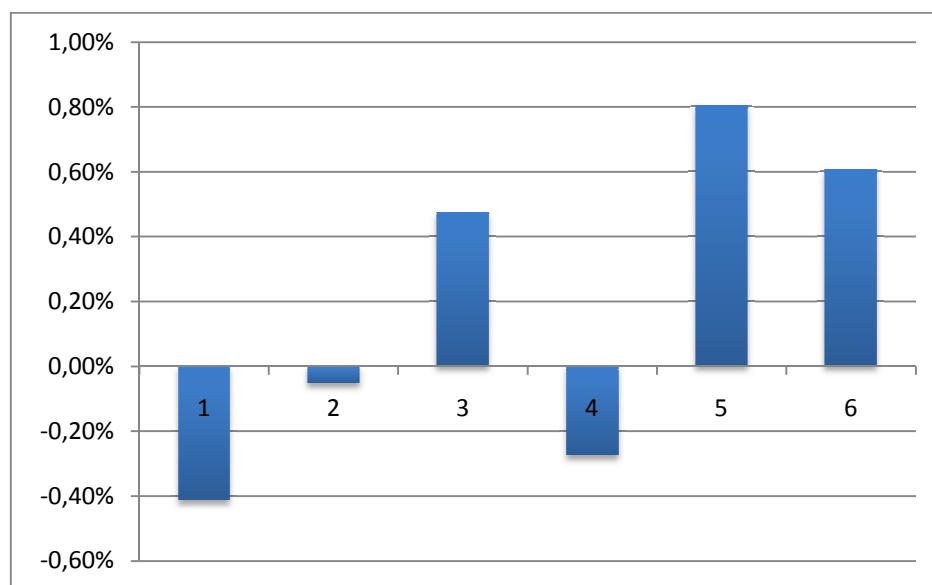
Obr. 25 – Kalibrace měřidla

Naměřené hodnoty spolu s regresní přímkou, pomocí níž jsem stanovil měřítko, jsou uvedeny na následujícím grafu.



Obr. 26 - Cejchovací křivka s rovnicí regresní přímky a jejího koeficientu korelace

Z naměřených hodnot jsem rovněž stanovil odchylky od teoretické přímky. Hodnoty těchto odchylek jsou uvedeny na následujícím grafu.

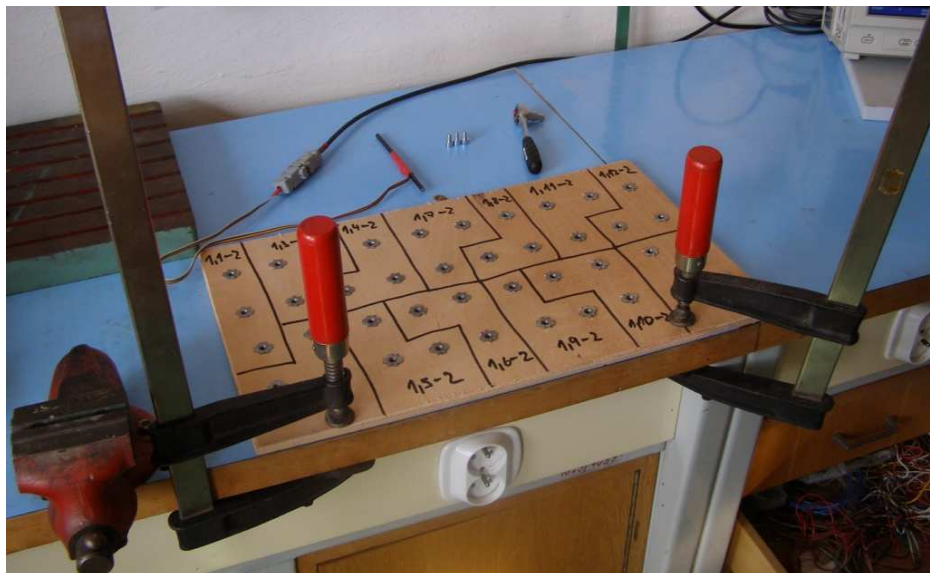


Obr. 27 – Hodnoty odchylek měření od regresní přímky

Z kalibrace vyšlo najevo, že výsledná chyba cejchování se pohybuje pod jedním procentem, což je pro tohle měření dostačující.

6.3 Utahování šroubu

Utahování šroubů bylo prováděno do dřevěných desek, kde byly speciální nárazecí matice M6 BN226, do kterých byly zašroubovávány testovací šrouby. Šrouby byly dotahovány dle dohody s firmou BorCAD točivým momentem 4,5 Nm.



Obr. 29 – Připravené měřící pracoviště

6.4 Metodika měření

V první části měření byla prováděna úprava povrchu před lepením pro všechny zadané kombinace. Úpravy byly prováděny vždy jenom na šroubech, matice zůstaly ve stavu dodaném výrobcem. Na každý šroub byly aplikovány 2 kapky lepidla na 2 až 3 závit.



Obr. 28 – Úprava povrchu šroubu

6.5 Měřené kombinace

Jako spojovací prvky byly v práci použity matice M6 BN226, které byly vždy ocelové a šrouby s vnitřním šestihranem M6x15 ČSN 021143, které byly buď pozinkované, nebo nerezové.

V práci byla testována lepidla:

- Loctite 2701
- Loctite 243
- RITE-LOK TL70
- RITE-LOK TL43
- PERMABOND HM135
- PERMABOND A113

Povrchy šroubů byly testovány v následujících variantách:

- Neupravený šroub dodaný výrobcem (dále označován jako „neupravený povrch“)
- Šroub odmaštěný přípravkem Technosol
- Šroub zamaštěn olejem WD-40
- Šroub ošetřen aktivátorem LOCTITE 7471
- Šroub ošetřen Aktivátorem LOCTITE 7471
- Šroub odmaštěn přípravkem Technosol a následně ošetřen Aktivátorem LOCTITE 7471

Doba vytvrzování:

- 24 hodin (dle doporučení výrobce)
- 48 hodin (dle požadavků firmy BorCAD)

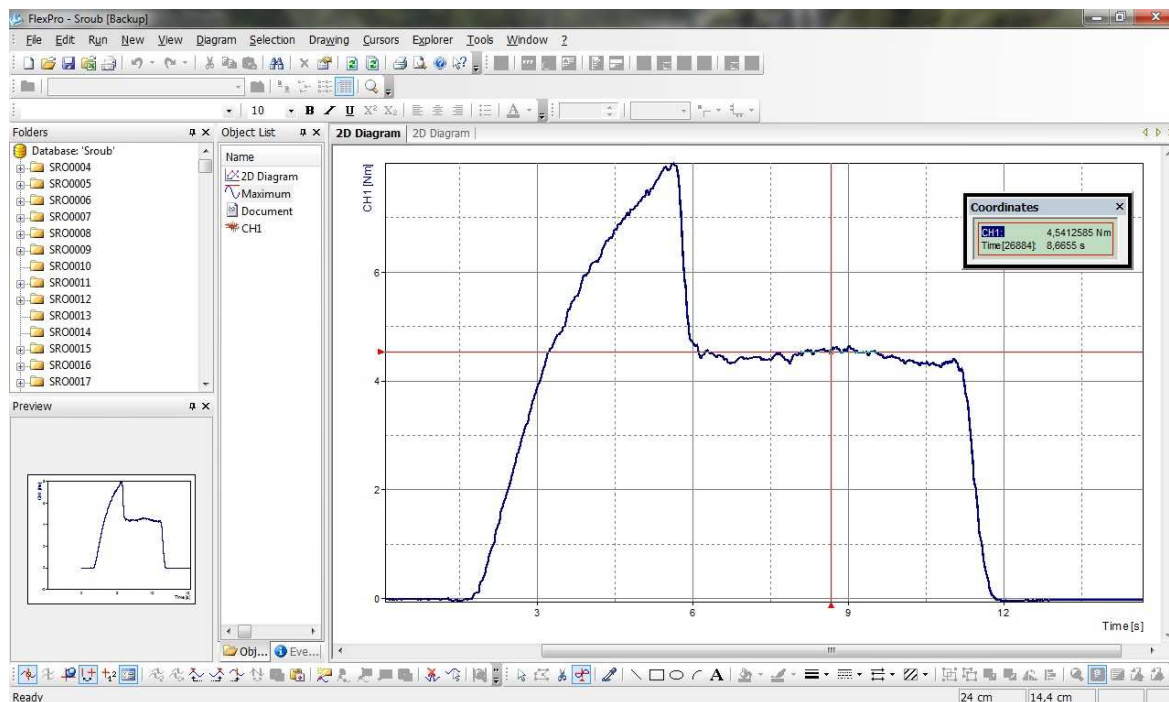
Kombinace všech výše uvedených požadavků nám dává dohromady 120 různých variant spojů. Každá kombinace měření byla prováděna 3 krát, abychom dostali statisticky významnou hodnotu.

Pro měření bylo použito 360 šroubů a matic. Všechny varianty měření jsou zaznamenány v tabulce, která je přiložená k práci. (PŘÍLOHA 43)

7 Vyhodnocování

7.1 Postup vyhodnocování

Data, které jsem získal z měření pomocí digitálního osciloskopu DL750, jsem následně vyhodnocoval pomocí programu FlexPro 7.0. (viz příklad na následujícím obrázku).



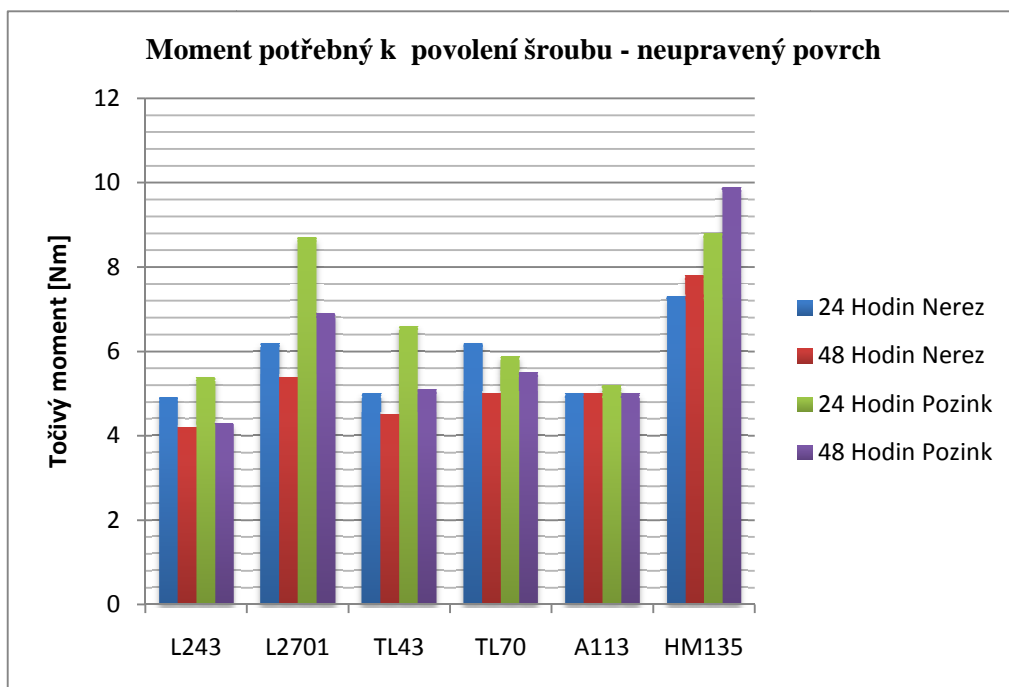
Obr. 30 – Program pro vyhodnocení (FlexPro 7.0.)

V tomto programu jsem hodnoty odečítal přímo z grafu. Některé průběhy vykazovaly dvě zajímavé oblasti. V první oblasti se vyskytovala maximální hodnota momentu, při kterém došlo k povolení šroubu. U některých záznamů, se stejně jako u příkladu na obr. 26, vyskytovala oblast, kdy i k dalšímu povolování uvolněného šroubu byl potřebný určitý točivý moment. Proto jsem ze záznamů vyhodnocoval jak maximální hodnotu momentu, tak průměrnou hodnotu momentu z dalšího povolování. Výsledné hodnoty jsem zaokrouhloval na jedno desetinné místo a zapisoval hodnoty do měřících protokolů, které jsou v příloze této práce.

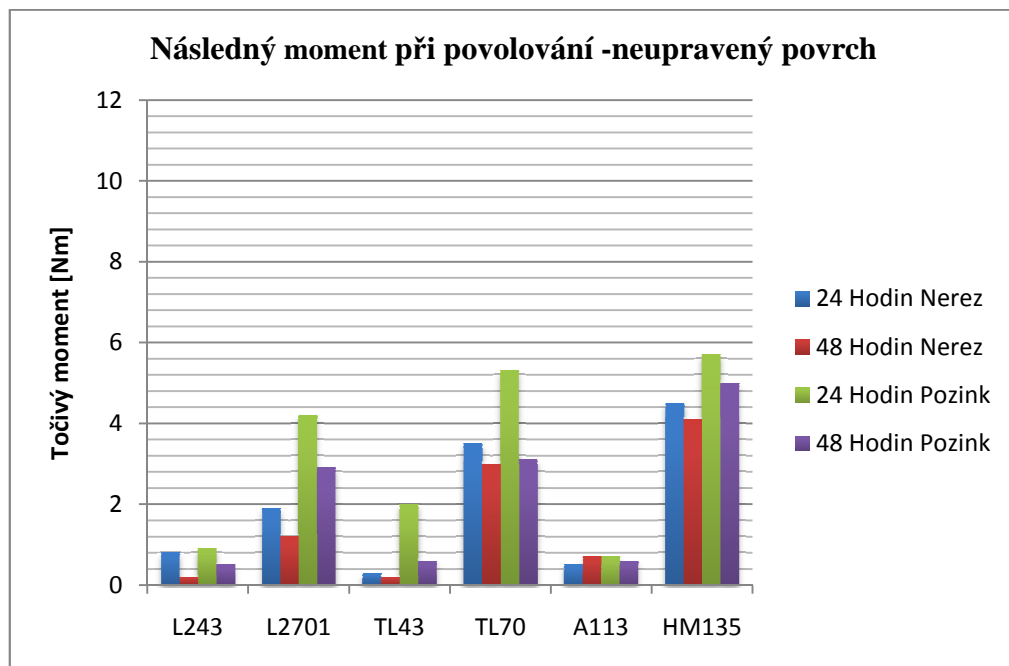
Pro každou měřenou kombinaci jsem dále naměřené hodnoty zprůměroval a provedl výpočet rozptylu měření, aby se ukázalo, v jakém rozsahu se výsledky vyskytovaly.

7.2 Výsledky pro neupravený povrch

Na následujících grafech jsou uvedeny naměřené hodnoty pro šrouby s neupraveným povrchem. Neupravený povrch v tomto případě znamená použití šroubu ve stavu od výrobce bez odmaštění.



Graf 1. Momenty potřebné pro povolení šroubu – neupravený povrch



Graf 2. Následné momenty – neupravený povrch

Dílčí závěr:

Jako nejvýhodnější je pro tento případ lepidlo HM135 v kombinaci s pozinkovaným šroubem a dobou vytvrzování 48 hodin. Výsledný moment povolení je $(9,9 \pm 0,18)$ Nm. Malý rozptyl výsledku potvrzuje platnost tohoto tvrzení.

Druhý nejlepší výsledek mělo lepidlo HM135 v kombinaci pozinkovaného šroubu a dobou vytvrzování 24 hodin. Výsledný moment povolení je $(8,8 \pm 0,30)$ Nm.

Třetí nejlepší výsledek mělo lepidlo Loctite 2701 při kombinaci s pozinkovaným šroubem a dobou vytvrzování 24 hodin. Výsledný moment povolení je $(8,8 \pm 0,30)$ Nm.

Lepidla pro **rozebíratelné spoje** měla velmi podobné výsledky. Většina naměřených hodnot se pohybovala od 4 do 6 Nm. Nejlepší výsledek mělo lepidlo TL43 a to v kombinaci s pozinkovaným šroubem a dobou vytvrzování 24 hodin. Výsledný moment povolení je $(6,6 \pm 0,41)$ Nm.

Nejhůře dopadlo lepidlo Loctite 243, u kterého se přibližně všechny naměřené hodnoty pohybovaly od 4 do 5 Nm.

Z hlediska **následného utahovacího momentu** potřebného pro povolení šroubu nejlépe dopadlo lepidlo HM135 v kombinaci s pozinkovaným šroubem a dobou vytvrzování 24 hodin. Výsledný moment povolování je $(5,7 \pm 0,47)$ Nm.

Druhý nejlepší výsledek mělo lepidlo TL70 v kombinaci s pozinkovaným šroubem a dobou vytvrzování 24 hodin. Výsledný moment povolování je $(5,3 \pm 0,42)$ Nm.

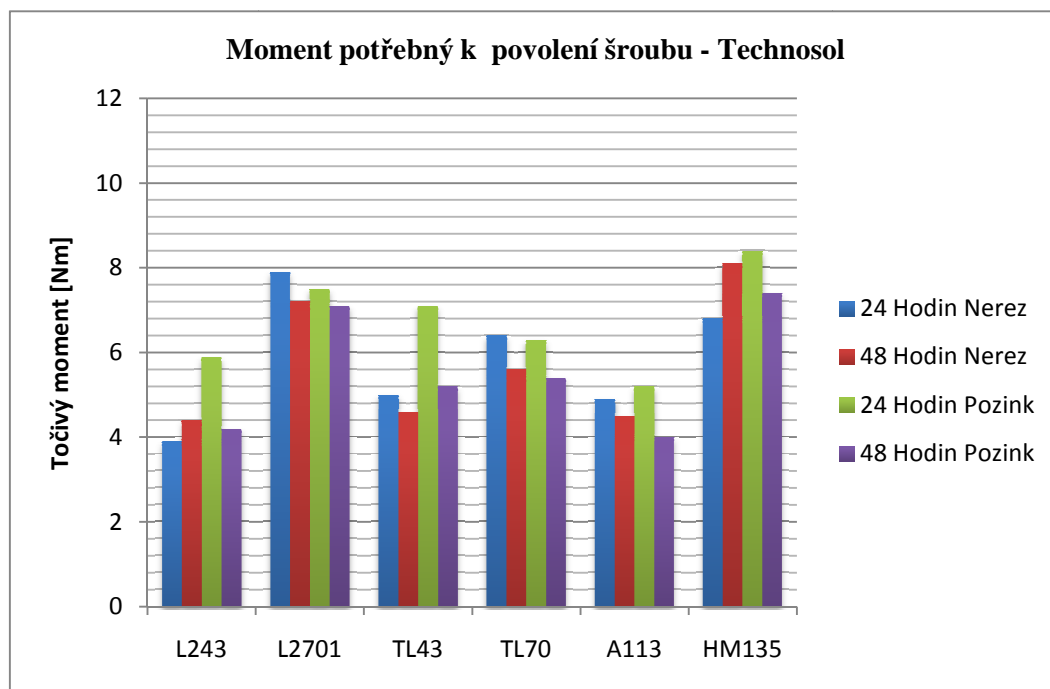
Jako třetí nejlepší výsledek se ukázala kombinace lepidla HM135 a pozinkovaného šroubu při době vytvrzování 48 hodin. Výsledný moment povolování je $(5 \pm 0,66)$ Nm.

Pro lepidla na **rozebíratelně spoje**, byl odpor proti vyšroubování zanedbatelný. Nejhůře dopadly lepidla Loctite 243 a A113.

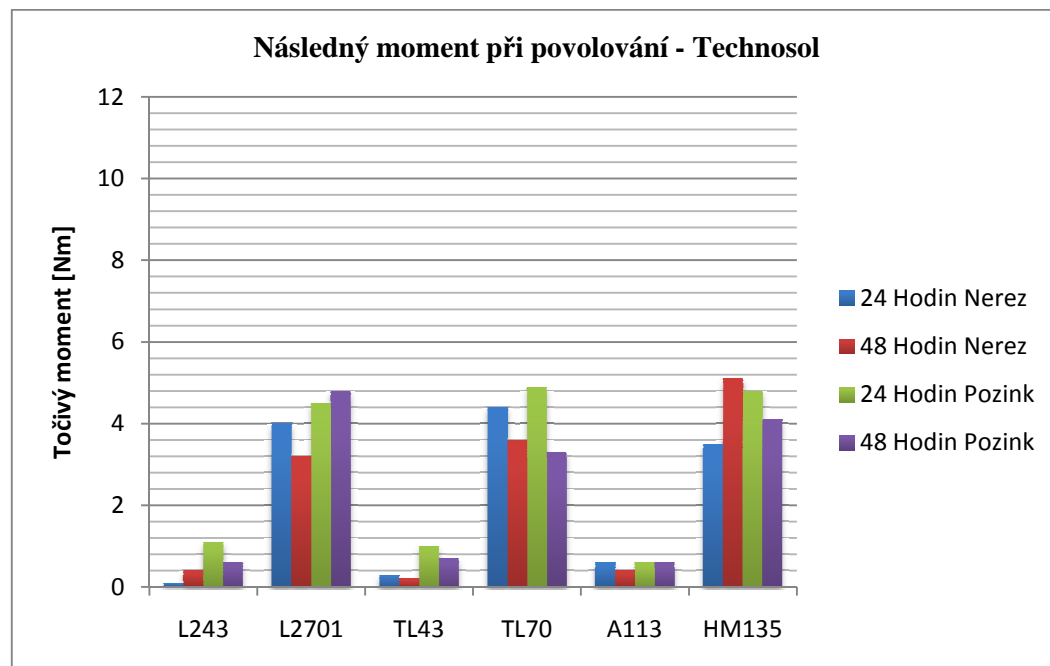
Pro lepení při surovém povrchu bych jednoznačně doporučil Lepidlo HM135 v kombinaci pozinkovaným šroubem s dobou vytvrzování 48 hodin. Toto lepidlo lze používat i v kombinaci s nerezovým šroubem kde jsou hodnoty menší přibližně o 2 Nm. Jako další alternativu bych zvolil lepidlo Loctite 2701 v kombinaci s pozinkovaným šroubem a dobou vytvrzování 24 hodin. Pro variantu rozebíratelného spoje bych doporučil kombinaci lepidla TL43 a pozinkovaného šroubu s dobou vytvrzování 24 hodin.

7.3 Vyhodnocení pro odmaštění povrch přípravkem Technosol

Na následujících grafech jsou uvedeny naměřené hodnoty pro šrouby s odmaštěným povrchem. Pro odmaštění povrchu byl použit přípravek Technosol.



Graf 3. Momenty potřebné pro povolení šroubu - Technosol



Graf 4. Následné momenty - Technosol

Dílčí závěr:

Jako nejvýhodnější je pro tento případ lepidlo HM135 v kombinaci s pozinkovaným šroubem a dobou vytvrzování 24 hodin. Výsledný moment povolení je $(8,4 \pm 0,77)$ Nm.

Druhý nejlepší výsledek mělo lepidlo HM135 v kombinaci nerezového šroubu s dobou vytvrzování 48 hodin. Výsledný moment povolení je $(8,1 \pm 0,77)$ Nm.

Třetí nejlepší výsledek mělo lepidlo Loctite 2701, které mělo výsledky ve všech kombinacích velmi podobné. Výsledky se pohybovaly od 7 do 8 Nm. Jako nejlepší z tohoto lepidla vyšla kombinace nerezového šroubu s dobou vytvrzování 24 hodin.

Ve všech případech vyšla většinou nelépe kombinace pozinkovaného šroubu při době vytvrzování 24 hodin.

Nejlepších výsledků u použití lepidla pro **rozebíratelné spoje** bylo dosaženo kombinací lepidla TL43 a pozinkovaného šroubu s dobou vytvrzování 24 hodin. Výsledný moment povolení je $(7,1 \pm 0,43)$ Nm. Nejhorších výsledků dosáhlo lepidlo Loctite 243 pro kombinaci pozinkovaného šroubu tak i nerezového šroubu.

Z hlediska **následného utahovacího momentu** potřebného pro povolení šroubu nejlépe dopadlo lepidlo HM135 v kombinaci s nerezovým šroubem a dobou vytvrzování 48 hodin. Výsledný moment povolování je $(5,1 \pm 0,87)$ Nm.

Druhý nejlepší výsledek mělo lepidlo TL70 v kombinaci s pozinkovaným šroubem a dobou vytvrzování 24 hodin. Výsledný moment povolování je $(4,9 \pm 1,83)$ Nm. Tento výsledek není však přesný, protože má velký rozptyl měření.

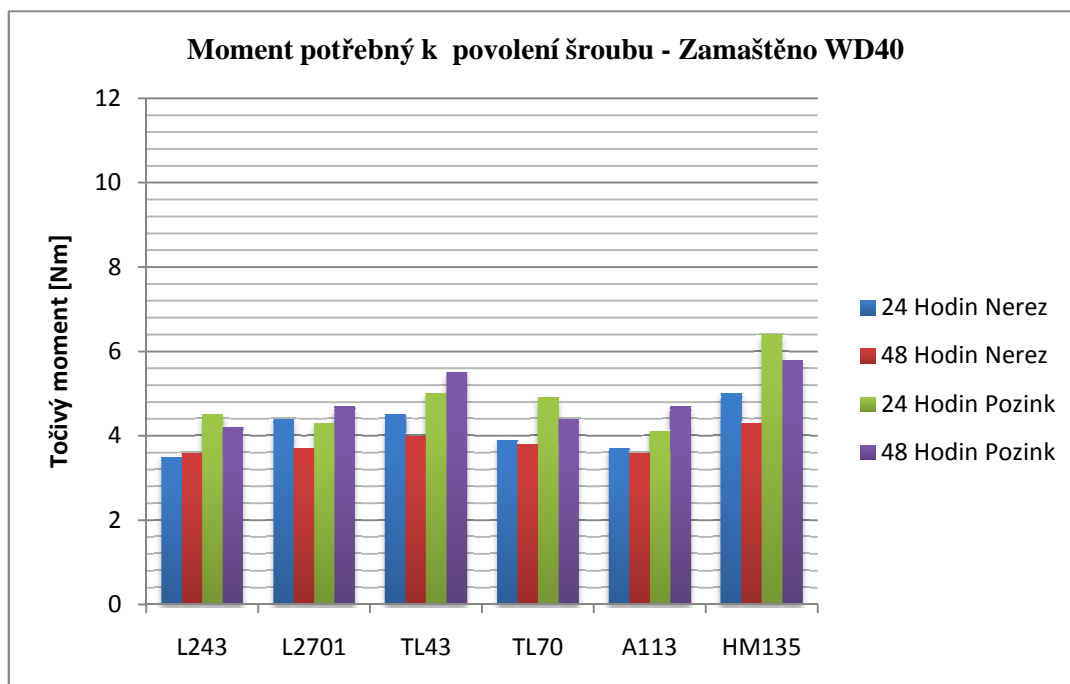
Jako třetí nejlepší výsledek vyšla kombinace lepidla HM135 a pozinkovaného šroubu. Výsledný moment povolování je $(4,8 \pm 0,57)$ Nm.

Pro lepidla na **rozebíratelné spoje**, byl následný odpor proti vyšroubování téměř zanedbatelný.

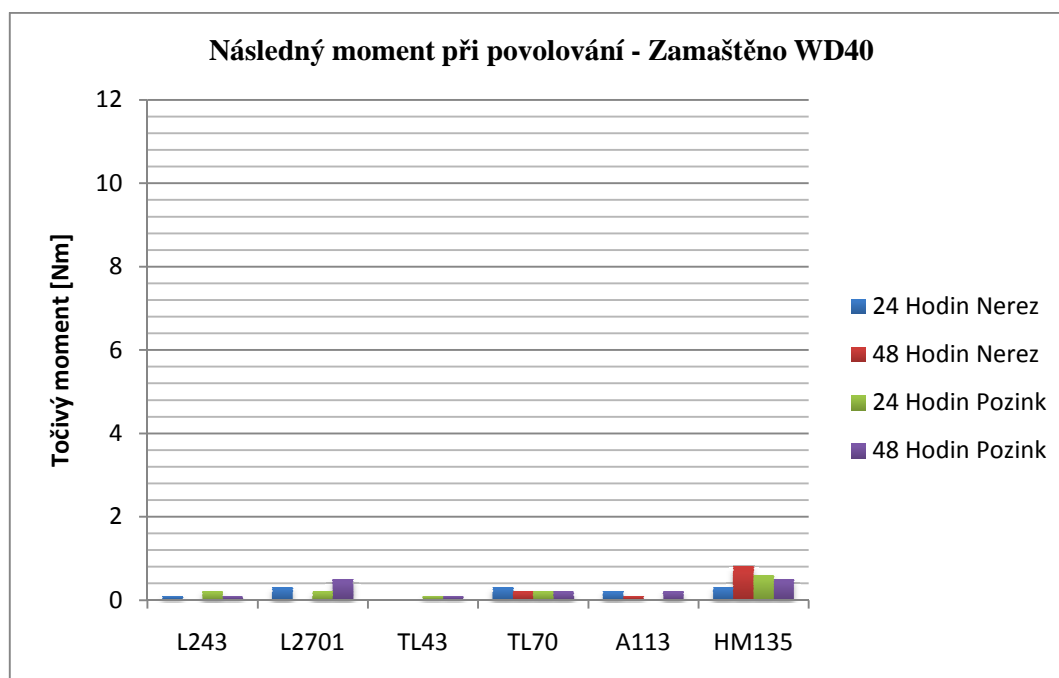
Pro lepení při odmaštění přípravkem Technosol bych doporučil lepidlo HM135 v kombinaci s pozinkovaným šroubem a dobou vytvrzování 24 hodin, nebo v kombinaci nerezového šroubu a doby vytvrzování 48 hodin. Další alternativou je lepidlo Loctite 2701 v kombinaci s nerezovým i pozinkovaným šroubem s dobou vytvrzování 48 hodin. V případě rozebíratelného spoje bych doporučil kombinaci lepidla TL43 s pozinkovaným šroubem a dobou vytvrzování 24 hodin. Výrazně bych nedoporučoval lepidlo Loctite 243 a lepidlo A113, kde byly oba zmiňované točivé momenty nejmenší.

7.4 Vyhodnocení pro zamaštění povrch olejem WD40

Na následujících grafech jsou uvedeny naměřené hodnoty pro šrouby se zamaštěným povrchem. Pro zamaštění povrchu byl použit přípravek mazací olej WD40.



Graf 5. Momenty potřebné pro povolení šroubu – WD40



Graf 6. Následné momenty - Technosol

Dílčí závěr:

Jako nejvýhodnější je pro tento případ lepidlo HM135 v kombinaci s pozinkovaným šroubem a dobou vytvrzování 24 hodin. Výsledný moment povolení je $(6,4 \pm 0,21)$ Nm.

Velmi podobným výsledkem skončila kombinace i pro dobu vytvrzování 48 hodin.

Třetí nejlepší výsledek mělo lepidlo TL43 s pozinkovaným šroubem a dobou vytvrzování 48 hodin. Výsledný moment povolování je $(5,5 \pm 0,26)$ Nm.

Pro další lepidla vyšla vždy lepší kombinace s pozinkovaným šroubem. Výsledky pro dobu vytvrzování se většinou moc nelišily. Nejmenší momenty pro povolení šroubu se vyskytly u lepidel Loctite 243 a A113 při kombinaci s nerezovým šroubem.

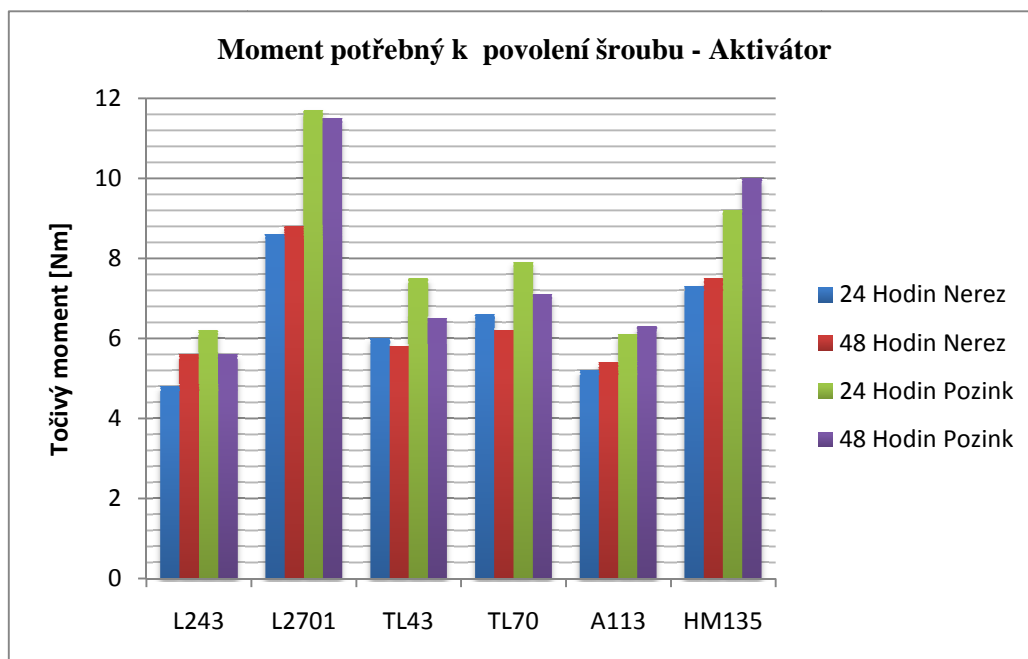
Z hlediska **následného utahovacího momentu** potřebného pro povolení šroubu vyšla všechna lepidla s velmi špatným výsledkem.

Maximální moment byl naměřen u Lepidla HM135 v kombinaci s nerezovým šroubem a dobou vytvrzování 48 hodin. Výsledný moment povolování je $(0,8 \pm 0,12)$ Nm. Ale i tak je to velmi malá hodnota, která na vyšroubování šroubu nečiní skoro žádný odpor. Další naměřené výsledky jsou naprosto zanedbatelné.

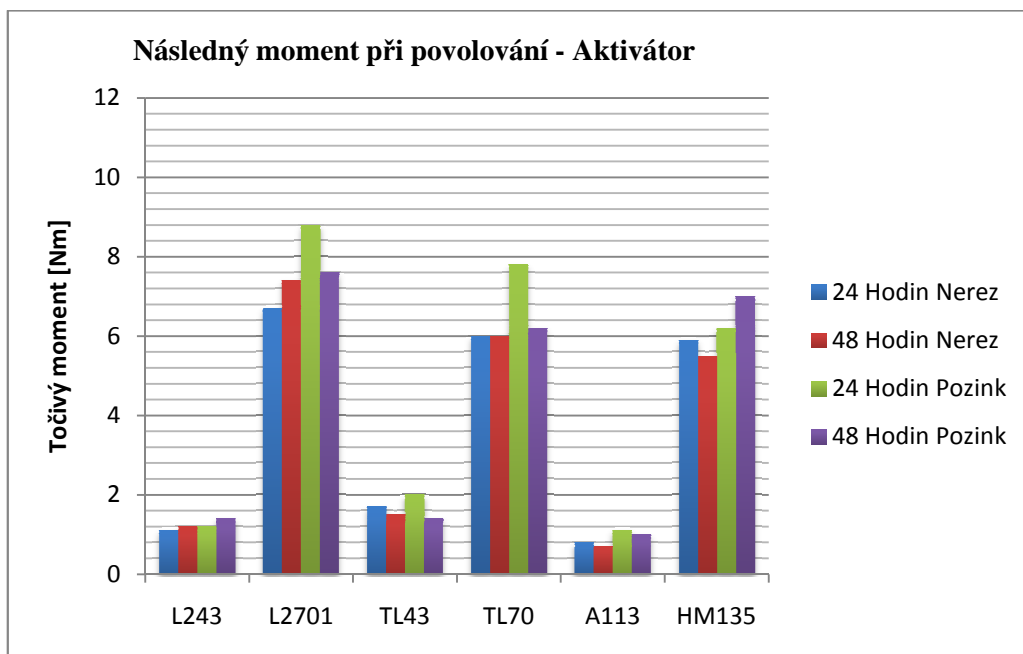
Pro lepení při zamaštěném povrchu olejem WD40 bych doporučil lepidlo HM135 v kombinaci s pozinkovaným šroubem a dobou vytvrzování 24 hodin. Při tomto zamaštěném povrchu bych doporučil používání pozinkovaných šroubů v kombinaci s každým lepidlem. Naměřené hodnoty pro pozinkované šrouby se v závislosti na době vytvrzování příliš nelišily. Pro variantu použití lepidla na rozebíratelné spoje vyšlo nejlépe lepidlo TL43 v kombinaci s pozinkovaným šroubem a dobou vytvrzování 48 hodin. U tohoto lepidla vyšel povolovací moment druhý největší z celého měření. Nejhůře dopadly lepidla Loctite 243 a A113 v kombinaci s nerezovými šrouby. Tím pádem bych tato lepidla v dané kombinaci nedoporučoval. Při měření na zamaštěném povrchu je jasně vidět, že lepidla na mazivo špatně reagují a výsledné povolovací momenty jsou velmi neuspokojivé. Lepení při zamaštěném povrchu bych výrazně nedoporučoval.

7.5 Vyhodnocení pro povrch ošetřený aktivátorem

Na následujících grafech jsou uvedeny naměřené hodnoty pro šrouby s povrchem ošetřeným aktivátorem. Pro úpravu povrchu byl použit aktivátor Loctite 7471.



Graf 7. Momenty potřebné pro povolení šroubu – Aktivátor



Graf 8. Následné momenty - Aktivátor

Dílčí závěr:

Jako nejvýhodnější je pro tento případ lepidlo Loctite 2701 v kombinaci s pozinkovaným šroubem a dobou vytvrzování 24 hodin a 48 hodin. Výsledky v obou případech jsou téměř totožné. Výsledný moment povolení je pro dobu vytvrzování 24 hodin $(11,7 \pm 0,52)$ Nm a pro dobu vytvrzování 48 hodin je $(11,5 \pm 0,62)$ Nm. To znamená, že při aplikování lepidla stačí doba vytvrzování 24 hodin.

Druhý nejlepší výsledek mělo lepidlo HM135 v kombinaci s pozinkovaným šroubem a dobou vytvrzování 48 hodin. Rozdíl velikosti povolovacího momentu při 24 hodinovém a 48 hodinovém vytvrzování lepidla jsou i v tomto případě malé. Při vytvrzování 48 hodin je tento výsledný moment povolení $(10 \pm 0,49)$ Nm a při vytvrzování 24 hodin je tento výsledný moment povolení $(9,2 \pm 0,51)$ Nm.

Nejlepších výsledků u použití lepidla pro **rozebíratelné spoje** bylo dosaženo kombinací lepidla TL43 v kombinaci s pozinkovaným šroubem a dobou vytvrzování 48 hodin. Výsledný moment povolení je $(7,5 \pm 0,18)$ Nm. Lepidla Loctite 243 a A113 měla výsledné povolovací momenty velmi podobné. Pohybovaly se v rozmezí od 5 do 6 Nm. U všech lepidel vyšla lépe kombinace s pozinkovaným šroubem.

Z hlediska **následného utahovacího momentu** potřebného pro povolení šroubu nejlépe dopadlo lepidlo Loctite 2701 v kombinaci s pozinkovaným šroubem a dobou vytvrzování 24 hodin. Výsledný moment povolování je $(8,8 \pm 1,09)$ Nm.

Druhý nejlepší výsledek mělo lepidlo TL70 v kombinaci s pozinkovaným šroubem a dobou vytvrzování 24 hodin. Výsledný moment povolování je $(7,8 \pm 0,88)$ Nm.

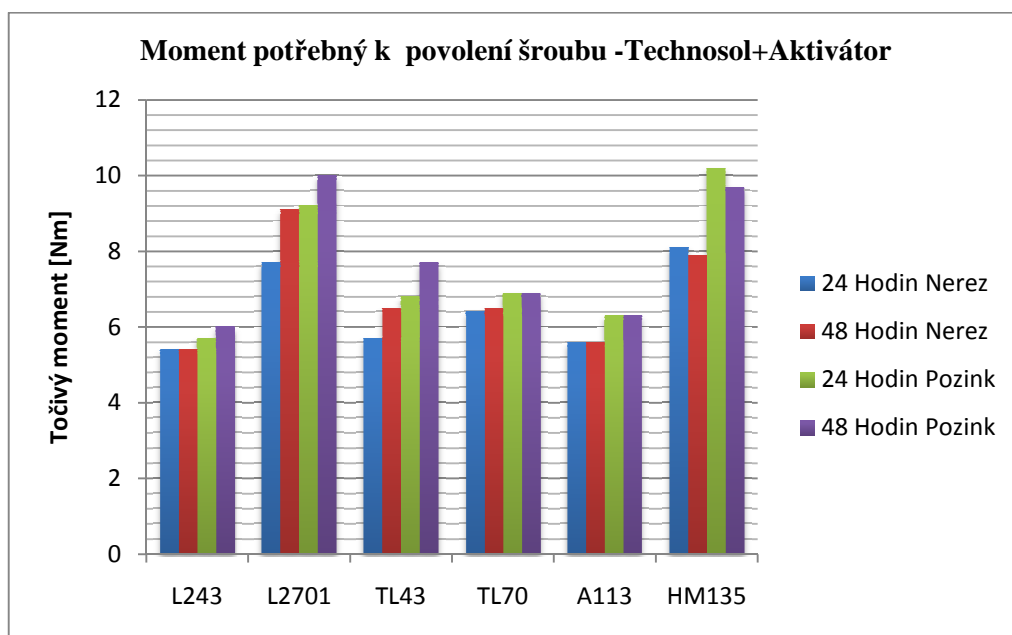
U lepidel Loctite 2701, TL70 a HM135 vycházely následné povolovací momenty velmi velké. V těchto případech hrály velkou roli při uvolnění spoje. V některých případech se stávalo, že následné momenty pro vyšroubování šroubu byly větší než samotný moment k povolení šroubu.

Pro lepidla na **rozebíratelné spoje** nejlépe vyšlo lepidlo TL43 v kombinaci s pozinkovaným šroubem a dobou vytvrzování 24 hodin. Výsledný moment povolování je $(2 \pm 0,23)$ Nm. Výsledky povolovacích momentů lepidel Loctite 243 a A113 se pohybovaly od 1 do 1,5 Nm. Tyto hodnoty jsou však velmi malé a odpor proti vyšroubování šroubu byl velmi malý.

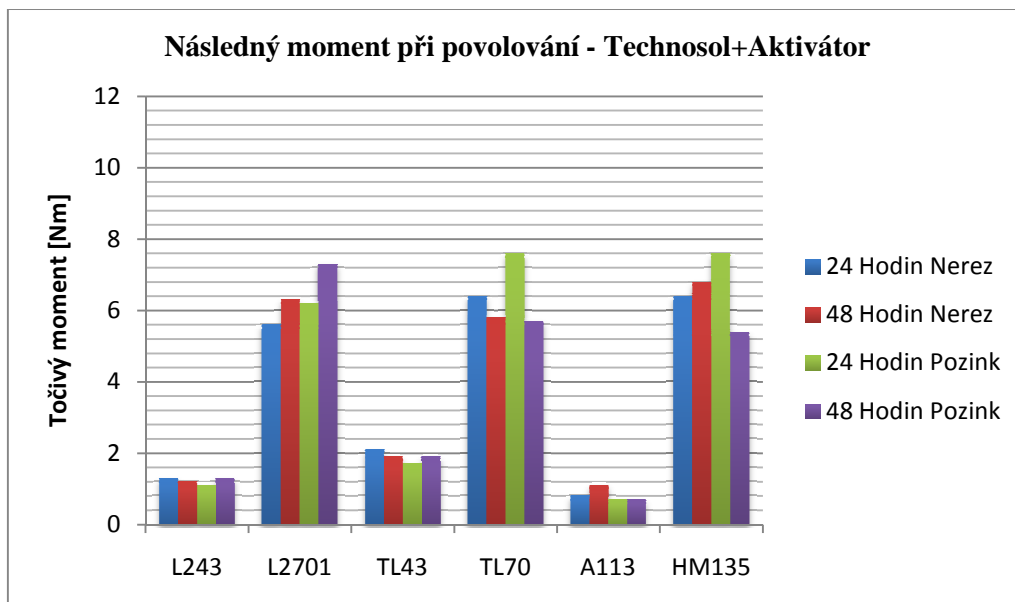
Pro lepení na povrch, kde byl aplikován aktivátor Loctite 7471, bych jednoznačně doporučil lepidlo Loctite 2701 v kombinaci pozinkovaného šroubu a doby vytvrzování 24 hodin. Nejlepšího výsledku dosáhlo, jak v momentu potřebném pro povolení šroubu tak i při následném momentu při povolování. Jako další alternativu bych použil lepidla HM135 a TL70 v kombinaci s pozinkovaným šroubem. U těchto lepidel se projevíly dobré výsledky jak při momentu potřebném k povolení šroubu, tak při následném momentu. Pro lepidla na rozebíratelné spoje bych doporučil lepidlo TL43, které vykazovalo nejlepší výsledky, jak u momentu pro povolení šroubu, tak i následného momentu. Ve všech případech vyšla lépe kombinace s pozinkovaným šroubem. Pro toto měření nejhůře skončily lepidla Loctite 243 a A113 při kombinaci s nerezovými šrouby.

7.6 Vyhodnocení pro povrch odmaštěn Technosolem a ošetřen aktivátorem

Na následujících grafech jsou uvedeny naměřené hodnoty pro šrouby, kde byl povrch nejprve odmaštěn přípravkem Technosol a následně na něj aplikován aktivátor Loctite 7471.



Graf 9. Momenty potřebné pro povolení šroubu – Technosol + Aktivátor



Graf 10. Následné momenty – Technosol + Aktivátor

Dílčí závěr:

Jako nejvýhodnější je pro tento případ lepidlo HM135 v kombinaci s pozinkovaným šroubem a dobou vytvrzování 24 a 48 hodin. Výsledky obou jsou téměř totožné. Výsledný moment povolení je pro dobu vytvrzování 24 hodin je $(10,2 \pm 0,45)$ Nm a pro dobu vytvrzování 48 hodin je $(9,7 \pm 0,30)$ Nm. To znamená, že při aplikování lepidla stačí vytvrzování 24 hodin.

Druhý nejlepší výsledek mělo lepidlo Loctite 2701, které pro kombinaci pozinkovaného šroubu a vytvrzování 48 hodin má velmi podobné výsledky jako lepidlo HM135. Výsledný moment povolení je v tomto případě $(10 \pm 0,49)$ Nm.

Pro nerezový šroub byly zaznamenány nejlepší výsledky s lepidlem Loctite 2701 a to při době vytvrzování 48 hodin. Výsledný moment byl $(9,1 \pm 0,29)$ Nm.

Pro lepidla na **rozebíratelné spoje** vyšel nejlepší výsledek s lepidlem TL43 v kombinaci s pozinkovaným šroubem a dobou vytvrzování 48 hodin. Výsledný moment povolení je $(7,7 \pm 0,07)$ Nm. Velmi podobného výsledku dosáhla tato kombinace i s dobou vytvrzování 24 hodin. Nejhorší výsledky vycházely pro lepidla Loctite 243 a A113 v kombinaci s nerezovým šroubem.

Pro **následný povolovací moment** vyšla nelépe lepidla TL70 a HM135 v kombinaci s pozinkovaným šroubem a dobou vytvrzování 24 hodin. Výsledný moment u lepidla TL70 vyšel $(7,6 \pm 0,44)$ Nm a u lepidla HM135 $(7,6 \pm 0,61)$ Nm.

Druhý nejlepší výsledek mělo lepidlo Loctite 2701 v kombinaci pozinkovaného šroubu a dobou vytvrzování 48 hodin, kde výsledný povolovací moment je $(7,3 \pm 0,52)$ Nm.

Pro nerezový šroub byl zaznamenán nejlepší výsledek s lepidlem HM135 a to při době vytvrzování 48 hodin. Výsledný moment byl $(7,6 \pm 0,61)$ Nm. Dobré výsledky dosáhly nerezové šrouby i s lepidly Loctite 2701 a TL70. Výsledné momenty byly velmi podobné a pohybovaly se kolem 6 Nm.

Pro lepidla na **rozebíratelné spoje** vyšel nejlepší výsledek pro lepidlo TL43. Výsledky pro všechny kombinace s tímto lepidlem byly prakticky totožné. Pro tento případ dopadlo nejhůře lepidlo A113.

Pro lepení šroubů, které byly odmaštěny přípravkem technosol a následně byl na povrch aplikován aktivátor, bych doporučil lepidlo HM135 a Loctite 2701 v kombinaci s pozinkovanými šrouby. Nejlepších výsledků dosahovaly jak pro moment pro povolení šroubu, tak i pro následný moment povolování. Při použití nerezových šroubů bych pro tento typ měření použil také lepidla HM135 a Loctite 2701. Zajímavým jevem je, že hodnoty bez odmaštění šroubu a použití aktivátoru jsou v některých případech větší než při odmaštění povrchu a následné aplikaci aktivátoru. Pro lepidla na rozebíratelné spoje bych doporučil lepidlo TL43, které vykazovalo nejlepší výsledky, jak u momentu pro povolení šroubu, tak i následného momentu. Nejhorší možnou kombinací pro toto měření se ukázala lepidla Loctite 243 a A113 v kombinaci s nerezovými šrouby.

8 Závěr

Cílem této práce bylo ověřit vhodnou technologii pro zajišťování šroubů proti povolení pomocí lepení pro firmu BorCAD.

Jako první jsem provedl rešerši stávajících systémů zajišťování šroubů proti uvolnění, které se dělí na zajištění šroubu silovým stykem, tvarovým stykem a materiálovým stykem. Do poslední kategorie patří právě lepení šroubových spojů. Uvedl jsem přehled lepidel a přípravků na úpravu povrchů se základními vlastnosti potřebných pro lepení používaných v současnosti firmou BorCAD. Dále jsem zpracoval teoretickou studii silových poměrů ve šroubu při jeho utažení a uvolnění s přehledem možných typů tření v závitu a pod maticí šroubu dle materiálu spojovaných součástí. Byl proveden výpočet sil vznikajících ve šroubu dle zadaných parametrů. Jednalo se o šroub M6 ČSN 02 1143 se zadaným utahovacím momentem 4,5 Nm.

Vlastní experiment probíhal pro 6 typů lepidel, 5 druhů úpravy povrchu před lepením, dva typy povrchové úpravy šroubů a pro 3 měření každé varianty pro získání statisticky využitelných výsledků. Celkem bylo změřeno a vyhodnoceno 360 měření. Výsledky měření pro všechny druhy lepidel a úpravy povrchů jsou popsány v kapitole vyhodnocení měření. Systematická chyba měření, která byla dána kalibrací přístroje je $\pm 0,4\%$. Průměrná hodnota rozptylů při měření je pro moment potřebný k povolení $\pm 0,34$ Nm a pro následný moment povolování $\pm 0,38$ Nm. Největších rozptylů bylo dosaženo při měření s odmaštěným povrchem přípravkem Technosol a to $\pm 1,83\%$ a jak se dalo očekávat nejmenších při zamaštěném povrchu olejem WD-40, kdy použití lepidla bylo zcela neúčinné.

Nejlepší výsledky **pro nerezový šroub** měla kombinace lepidla Loctite 2701 při odmaštění povrchu přípravkem Technosol a následné aplikaci aktivátoru Loctite 7471 na povrch šroubu při době vytvrzování 48 hodin. Výsledný maximální moment povolení je $9,1 \pm 0,29$ Nm. Velmi podobný výsledek měla tato kombinace i bez odmaštění Technosolem.

Nejlepších výsledků pro **pozinkovaný šroub** mělo lepidlo Loctite 2701 v kombinaci s aktivátorem s dobou vytvrzování 24 hodin. Výsledný maximální moment povolení je $11,7 \pm 0,52$ Nm. V některých příkladech této kombinace bez odmaštění Technosolem dosahovalo kupodivu lepších hodnot.

Zde bych chtěl zdůraznit, že použití odmašťovacího přípravku Technosol nemělo očekávaný účinek, v některých případech docházelo dokonce k horším výsledkům, než před jeho aplikací. Důvod tohoto jevu není znám a bude předmětem dalšího ověřování.

Pro měřené šrouby bych **důrazně nedoporučoval aplikovat lepidlo na zamaštěný povrch**, kde u všech případů, byla naměřená hodnota nejmenší. Jako nejuniverzálnější lepidlo vyšlo lepidlo HM135, které bylo kromě povrchu, kde byl aplikován aktivátor ve všech případech nejlepší. Pro kombinaci lepidel na rozebíratelné spoje bych doporučil lepidlo TL43 v kombinaci s pozinkovaným šroubem. Ve všech měřeních mělo nejlepší výsledky jak u momentu potřebného k povolení, tak i u následného uvolňovacího momentu. Nejhorší výsledky měření vykazaly lepidla Loctite 243 a A113. Skoro ve všech případech vyšla jako lepší varianta použití pozinkovaných šroubu.

Pro tuto práci byly zkoumány pouze ty materiály, které firma BorCAD běžně používá. Na základě výsledků této práce došlo mezi mnou a pracovníky firmy BorCAD k dohodě, že na uvedené problematice budu dále pracovat, zejména s ohledem na velmi neuspokojivé výsledky používaného odmašťovacího přípravku.

9 Literatura

- [1] KALÁB, Květoslav. ČÁSTI A MECHANIMY STROJŮ PRO BAKALÁŘE : Části spojovací. [s.l.] : [s.n.], 2008. 91 s.
- [2] OSTEN, Miloš. *Práce s lepidly a tmely*. Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1982. 288 s.
- [3] PETERKA, Jindřich. *Lepení konstrukčních materiálů ve strojírenství*. Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1980. 792 s.
- [4] HOSNEDL, Stanislav; KRÁTKÝ, Jaroslav . *Příručka strojíního inženýra : Obecné strojí částí*. Vyd. 1. Brno : Computer Press, 1999. 313 s.
- [5] LEINVEBER, Jan; VÁVRA, Pavel. *STROJNICKÉ TABULKY : POMOCNÁ UČEBNICE PRO ŠKOLY TECHNICKÉHO ZAMĚŘENÍ*. První vydání. Praha 1 : ALBRA - pedagogické nakladatelství, 2003. 868 s.

Internetové zdroje

- [6] *Šroubové spoje* [online]. 2008 [cit. 2010-03-05]. Šroubové spoje. Dostupné z WWW: <<http://ppettullka.ic.cz/strojirenstvi/1.htm>>.
- [7] GOPAS, a.s. *Strojírenská a jazyková škola* [online]. 2007 [cit. 2010-03-05]. Pojištění šroubů. Dostupné z WWW: <www.sps-ko.cz/documents>.
- [8] *MITCalc* [online]. 2010 [cit. 2010-03-07]. Šroubový spoj. Dostupné z WWW: <<http://www.mitcalc.cz/doc/boltcon/help/cz/boltcontxt.htm>>.
- [9] *Reca spol. s.r.o* [online]. 2010 [cit. 2010-03-27]. Šrouby s válcovou hlavou. Dostupné z WWW:<http://www.reca.cz/recacz/resources/332989494672973808_391302804804435896.pdf>.

Katalogy

- [10] *Loctite* [online]. 2009 [cit. 2010-03-27]. Technický list Loctite 243. Dostupné z WWW: <<http://65.213.72.112/tds5/docs/243%20NEW-CS.PDF>>.
- [11] *Loctite* [online]. 2004 [cit. 2010-03-27]. Technický list Loctite 2701. Dostupné z WWW: <<http://65.213.72.112/tds5/docs/2701-CS.PDF>>.
- [12] *3M RITE-LOK* [online]. 2009 [cit. 2010-03-27]. Anaerobní lepidla. Dostupné z WWW: <[10] <http://www.ettler.net/ritelok/index.php?id=21>>.
- [13] *Loctite* [online]. 2008 [cit. 2010-03-27]. Technický list Loctite 7471. Dostupné z WWW: <<http://65.213.72.112/tds5/docs/7471-CS.PDF>>.
- [14] *Permabond : Permabond Anaerobic Adhesives Product Selector* [online]. 2009 [cit. 2010-03-27]. PERMABOND A113 Technical Datasheet. Dostupné z WWW: <http://www.permabondllc.com/TDS/A113_TDS.pdf>.
- [15] *Permabond : Permabond Anaerobic Adhesives Product Selector* [online]. 2009 [cit. 2010-03-27]. PERMABOND HM135 Technical Datasheet. Dostupné z WWW: <http://www.permabondllc.com/TDS/HM135_TDS.pdf>.
- [16] *Novato.cz* [online]. 2008 [cit. 2010-03-22]. Čištění a odmašťování. Dostupné z WWW:<<http://www.novato.cz/cz/sortiment/cisteni-a-odmastovani/product.html?id=36>>.
- [17] *Mazivo* [online]. 2009 [cit. 2010-03-27]. Mazivo WD-40. Dostupné z WWW: <<http://mazivo.cz/wd-40-100.php>>.

10 Přílohy

K této bakalářské práci je velmi mnoho příloh. Proto se jejich velká část nachází pouze na elektronickém médiu přiloženém k práci. Součástí papírové verze jsou pouze vybrané příklady. Všechny přílohy jsou dostupné elektronicky na přiloženém DVD médiu.

PŘÍLOHA 1 až 6 – Měřicí protokoly číslo BC-A113-1 až BC-A113-6

PŘÍLOHA 7 až 12 – Měřicí protokoly číslo BC-HM135-1 až BC-HM135-6

PŘÍLOHA 13 až 18 – Měřicí protokoly číslo BC-LOCTITE243-1 až BC-LOCTITE243-6

PŘÍLOHA 19 až 24 – Měřicí protokoly číslo BC-LOCTITE2701-1 až BC-LOCTITE2701-6

PŘÍLOHA 25 až 32 – Měřicí protokoly číslo BC-TL43-1 až BC-TL43-6

PŘÍLOHA 33 až 40 – Měřicí protokoly číslo BC-TL70-1 až BC-TL70-6

PŘÍLOHA 41 – Postup lepení pro dobu vytvrzování 24 hodin

PŘÍLOHA 42 – Postup lepení pro dobu vytvrzování 48 hodin

PŘÍLOHA 43 – Rozdělení typu měření

Součástí papírové verze jsou přílohy:

PŘÍLOHA 1 - BC-A113-1

PŘÍLOHA 7 - BC-A113-2

PŘÍLOHA 13 - BC-A113-3

PŘÍLOHA 19 - BC-A113-4

PŘÍLOHA 25 - BC-A113-5

PŘÍLOHA 33 - BC-A113-6

PŘÍLOHA 41 – Postup lepení pro dobu vytvrzování 24 hodin

11 Poděkování

Rád bych tímto poděkoval doc. Ing. Zdeňkovi Foltovi, Ph. D. za trpělivost, cenné rady, podněty a celkové vedení při zpracování mé Bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat panu Danielovi Kudláčkovi z firmy BORCAD cz s.r.o. za cenné rady a výbornou spolupráci při jejím řešení. Také děkuji společnosti BORCAD cz s.r.o. za možnost zpracování této práce.

Tomáš Trčka